

PRODUCCIÓN DE PIÑÓN MEDITERRÁNEO (*Pinus pinea* L.)

INSTITUTO FORESTAL
2016



PRODUCCIÓN DE PIÑÓN MEDITERRÁNEO

(*Pinus pinea* L.)

INSTITUTO FORESTAL
2016



PRODUCCIÓN DE PIÑÓN MEDITERRÁNEO

(*Pinus pinea* L.)

INSTITUTO FORESTAL
2016

Editoras
Verónica Loewe M.¹
Claudia Delard R.²

1 Ing. Forestal (U. de Chile, Chile); Especialización en producción de Maderas Nobles (U. de Bolonia, Italia); MPA (U. de Harvard, EE.UU.); PhD (U. de Córdoba, España). Jefe de Proyectos Instituto Forestal, Sede Metropolitana. veronica.loewe@infor.cl

2 Ing. Forestal (U. de Chile). Jefe de Proyectos Instituto Forestal, Sede Metropolitana. Sucre 2397, Ñuñoa, Santiago. claudia.delard@infor.cl

PRÓLOGO

El Instituto Forestal (INFOR) ha mantenido líneas de investigación en pino piñonero (*Pinus pinea* L.) por más de 25 años. Se trata de una especie forestal que produce madera, pero cuyo producto más interesante es su semilla, el piñón, producto pequeño en tamaño, pero grande en sus características organolépticas y nutricionales y en su valor comercial. Se han concentrado los esfuerzos en conocer la especie, en entender cómo se ha adaptado en Chile en los casi 200 años desde su introducción, y en adaptar el conocimiento desarrollado, principalmente en Europa, desde hace décadas. Esto ha conducido en ciertos casos a desarrollar nuevas técnicas dadas las condiciones diversas en que se desarrolla y el elevado vigor que la especie presenta en Chile.

Se ha constatado que una importante parte de Chile presenta condiciones edafoclimáticas adecuadas para la especie, donde se desarrolla con crecimientos y productividades sobresalientes, a lo que se suma una ausencia de plagas y enfermedades. A estas ventajas se suman otras de carácter comercial, como la producción en contra estación, que permitirían ofrecer piñón en los periodos de mayor consumo en el Hemisferio Norte.

Estas características posicionan a la especie como prioritaria para la diversificación productiva forestal y frutícola de Chile, y como una alternativa para sectores rurales de menores ingresos que no pueden sustentar su economía en las especies forestales tradicionales dado el largo periodo de retorno de la inversión, atractivo solamente a gran escala. Además, el piñón corresponde a un fruto seco de muy alto valor en el mercado, con precios entre 20 y 45 €/kg a mayorista, rubro de gran crecimiento en Chile, alcanzando las exportaciones de nueces, almendras y avellanas cerca de US\$ 503 millones el año 2015 (ODEPA, 2016).

INFOR espera que el presente manual constituya un aporte al conocimiento de este emblemático cultivo, que ha generado elevado interés entre productores e inversionistas, lo que se ha traducido en más de 600 hectáreas establecidas durante los últimos tres años. El documento contiene aspectos prácticos para el establecimiento de huertos y plantaciones en el país, considerando una silvicultura más intensiva para alcanzar una adecuada competitividad.

Desde ya INFOR invita a todos los interesados a atreverse, en la seguridad que no se van a arrepentir, y tanto ellos como sus nietos disfrutarán de las bondades de estos árboles. INFOR mantiene su compromiso de continuar investigando y conociendo acerca de las mejores técnicas de cultivo que permitan maximizar ingresos y contribuir a una mejor calidad de vida de los chilenos.

Fernando Rosselot Téllez
Director Ejecutivo
Instituto Forestal

INSTITUTO FORESTAL
Sucre 2397 Ñuñoa Santiago
Chile
F. 223667115
www.infor.cl
Registro Propiedad Intelectual N° A-272127
ISBN N° 978-956-318-121-0

Se autoriza la reproducción parcial de esta publicación siempre y cuando se cite la fuente correspondiente:

Loewe, Verónica y Delard, Claudia (Eds), 2016. Producción de Piñón Mediterráneo (*Pinus pinea* L.). Manual N° 48. Instituto Forestal. Chile. P. 108

La información que entrega el presente manual es resultado del proyecto Desarrollo de Técnicas de Manejo para Producir Piñones de Pino Piñonero (*Pinus pinea* L.), una Opción Comercial Atractiva para Chile, ejecutado por el Instituto Forestal (INFOR) y la Universidad de Valparaíso, entre Diciembre del 2012 y Octubre del 2016, y financiado por FONDEF-CONICYT en colaboración con el sector público y privado.



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	11
1. EL PINO PIÑONERO	13
1.1. Características de la Especie	13
1.2. El Pino Piñonero en Chile	17
1.3. Ciclo Reproductivo	22
1.4. Productividad	25
1.5. Sanidad	28
2. EL PIÑÓN MEDITERRÁNEO, UN INTERESANTE FRUTO SECO	31
2.1. Los Frutos Secos y su Importancia en la Dieta	31
2.2. Composición Química del Piñón	33
2.2.1. Piñones Cultivados en Chile	33
2.2.2. Piñones Cultivados en Seis Países	35
3. REQUERIMIENTOS DE CLIMA Y SUELO DEL PINO PIÑONERO	37
3.1. Clima	37
3.1.1. Influencia del Clima en el Crecimiento	39
3.1.2. Influencia del Clima en la Fructificación	41
3.2. Suelo	43
4. TIPO DE PLANTACIÓN	45
4.1. Selección del Tipo de Plantación	45
4.2. Diseño	48
4.3. Producción de Plantas de Semilla	52
4.3.1. Aproveccionamiento y Manejo de Semilla	52
4.3.2. Producción de Plantas	54
4.4. Producción de Plantas Injertadas	59
4.4.1. Selección y Preparación de Patrones	61
4.4.2. Injertación	61
4.4.3. Manejo del Patrón Post Injerto	63
4.4.4. Otras Consideraciones Relativas a los Injertos	63
4.4.5. Experiencias de Injertación	63
5. ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES	65
5.1. Preparación de Suelo	65
5.2. Plantación	66
5.3. Control de Malezas	66

5.4. Fertilización	67
5.5. Control de Lagomorfos	69
6. MANEJO DE PLANTACIONES Y HUERTOS	71
6.1. Fertilización	71
6.2. Riego	73
6.2.1. Efecto del Riego en el Crecimiento	73
6.2.2. Efecto del Riego en la Fructificación	73
6.3. Control de Malezas	75
6.4. Poda	75
6.4.1. Podas de Formación	75
6.4.2. Podas de Producción	78
6.4.3. Podas Radiculares	79
6.5. Raleos	80
6.5.1. Raleos para Favorecer el Desarrollo de los Árboles	80
6.5.2. Raleos de Fruta	83
RECONOCIMIENTOS	85
REFERENCIAS	87

INTRODUCCIÓN

El piñón mediterráneo corresponde a la semilla del pino piñonero (*Pinus pinea* L.), especie originaria de la zona Mediterránea Europea que fue introducida a Chile hace dos siglos y que se ha adaptado muy bien, con crecimiento y productividad similar, e incluso superior, que en su zona de origen. Se ha usado principalmente con fines ornamentales, para dar sombra y proteger al ganado, y para producir piñones, solo a escala local.

El piñón de pino (“pine nut”, “pinoli”, “pignons”) es un fruto seco de exquisito sabor, delicado, usado en variadas aplicaciones gastronómicas, ya que se puede consumir crudo y en preparaciones saladas o dulces. En los últimos años ha aumentado el conocimiento acerca de sus interesantes propiedades nutricionales y saludables (Sabaté y Ang, 2009; Jenkins *et al.*, 2011; Estruch *et al.*, 2013; Rees *et al.*, 2014).

El conocimiento y aplicación de técnicas apropiadas para su cultivo intensivo, junto a la selección de individuos de productividad superior, permitirá una producción frutal sostenida, disminuyendo el añerismo que caracteriza a la especie, aumentando la producción de piñones, homogeneizando su calidad y haciéndolos más atractivos en términos económicos.

Entre estas técnicas de manejo se encuentran el uso de plantas de calidad injertadas o sin injertar, las podas, el control de maleza, la fertilización, el riego y los raleos, entre otras. En Chile desde hace 25 años se han diseñado y establecido unidades experimentales en varias zonas del país con diferentes objetivos (densidad, origen de material colectado en Chile e importado, fertilización, manejo de plantaciones adultas, huertos clonales), a fin de probar y adaptar la experiencia Europea a la realidad local, y también desarrollar nuevas técnicas adaptadas a las diferentes condiciones en que se desarrolla la especie en Chile, que han permitido avanzar en la domesticación de la especie orientada a la producción especializada de piñones.

Los resultados de estos avances se presentan en este manual, que ha sido motivado por el interés de numerosos productores e inversionistas innovadores que están estableciendo nuevas plantaciones, a partir de las cuales se generará una nueva oferta de piñas y piñones que podrá insertarse en los nichos de mercado que comercializan el producto, tal como está sucediendo con Nueva Zelanda, donde se cultiva en suficiente cantidad para sustentar una actividad comercial, existiendo una industria de elaboración del piñón en expansión (Vanhanen y Savage, 2013). En particular destacan como de mayor interés los mercados de grandes dimensiones, como EE.UU., Alemania, China y Rusia, así como aquellos en donde el consumo per capita es mayor (España, Australia e Israel) (Evaristo, 2016).

El piñón mediterráneo (*Pinus pinea* L.) es el fruto seco más exclusivo y caro del mercado internacional, el cual se caracteriza por un consumo mundial creciente, con un incremento anual de la demanda cercano al 7-8% (Ciavolino, 2013, com. pers.), precios altos e inelásticos, y una demanda capaz de absorber toda la producción (Mutke *et al.*, 2012). Esto ocurre en una coyuntura mundial marcada por una reducción significativa y sostenida de la producción y un incremento





de los precios debido al ataque del insecto *Leptoglossus occidentalis* que ha afectado los bosques de los principales países productores (Sousa *et al.*, 2012; Ruitenber, 2013; Mutke *et al.*, 2014), aparentemente agravado por el cambio climático (Mutke *et al.*, 2005a).

Loewe (2016), a través del análisis de la influencia del clima en el crecimiento y la productividad de la especie, y del estudio de la variabilidad de poblaciones introducidas mediante diferentes técnicas, confirmó la adaptabilidad y capacidad productiva del pino piñonero en Chile, que es superior a la registrada en gran parte de su distribución mundial. Todos estos hechos han motivado el desarrollo de este manual, para aportar al conocimiento y masificación de esta especie en el país.

1.- EL PINO PIÑONERO

Verónica Loewe M.

1.1.- CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE

El *Pinus pinea* L. es una conífera de la familia Pinaceae, subfamilia Pinoideae, género *Pinus*, sección Pinea (Gutiérrez, 2007), cuyo nombre común es pino piñonero o pino mediterráneo.

Es un árbol majestuoso de hábito simpódico que alcanza 20-30 m de altura y hasta 1,5 m de diámetro (Figura N° 1), con copa globosa (Figura N° 2), característica compartida solo con *Pinus nelsonii* de México.

Sus ramas son curvadas hacia arriba cuando joven y en forma de paraguas cuando adulto (Peruzzi *et al.*, 1998) por la baja dominancia apical de la especie (Mutke, 2004), que corresponde a una estrategia reproductiva orientada a maximizar el número de puntos de fructificación (Mutke, 2005a).

Desde el punto de vista productivo, la baja dominancia apical es una ventaja respecto a otros pinos que producen piñones comestibles, ya que estos requieren de intervenciones frecuentes para mantener copas productivas bajas y amplias (Shen, 2003).



Figura N° 1
EJEMPLAR DE PINO PIÑONERO CON DIÁMETRO MAYOR A 1,5 m





Figura N° 2
FORMA TÍPICA DE PINO PIÑONERO ADULTO

Posee dos hojas aciculares por braquiblasto, más cortas, solitarias y de color verde azulado cuando jóvenes, mientras que las definitivas son de color verde, de 10 a 20 cm de longitud y 1,5 a 2 mm de grosor, levemente rígidas y puntiagudas (Castaño *et al.*, 2004), dispuestas alternadamente y en espiral, ligeramente onduladas; persisten 2-3 años, y hasta 4 o más si las condiciones del sitio son buenas.

Las ramillas son de color café-amarillo, escamosas y ciliadas (Rodríguez y Rodríguez, 1984), y la corteza es gruesa, de color pardo grisáceo y fisurada en la juventud, más tarde de color canela y profundamente agrietada, desprendiéndose en gruesas placas irregulares cuadrangulares, en cuyos bordes se aprecian los anillos de crecimiento (Sabillón, 2001); su grosor y bajo contenido de resina respecto a otros pinos le confieren cierta resistencia al fuego.

Su sistema radicular se caracteriza por una raíz principal de rápido crecimiento juvenil (Geisler, 2008), que puede alcanzar más de un metro los dos primeros años, y raíces secundarias muy desarrolladas para extraer agua de napas profundas, casi horizontales, que se extienden en un área superior a la cubierta por la copa (Peruzzi *et al.*, 1998). Se han observado casos de uniones entre raíces de diferentes individuos.

Se considera como una especie no longeva (Cutini, 2002), existiendo ejemplares que viven 180-200 años (Gutiérrez, 2007), raramente superando los 200-250 años (Peruzzi *et al.*, 1998), aun cuando Montoya y Mesón (2004) la consideran de longevidad media-larga (350 a 450 años).



Es una especie pionera y termófila; muy heliófila, lo que moldea su forma; moderadamente resistente a vientos marinos; relativamente xerófila, soportando ciertas condiciones de aridez (El-Khorchani *et al.*, 2007), y es resistente a la salinidad y alcalinidad (Antonellini y Mollema, 2010; Khaldi *et al.*, 2011).

Se caracteriza por una elevada plasticidad fenotípica, rusticidad y tolerancia a un amplio rango de sitios (Figura N° 3), características que determinan importantes variaciones en su crecimiento y desarrollo (Gordo *et al.*, 2009), pudiendo sobrevivir muchos años en condiciones adversas, y adaptarse a diferentes micrositos.

En forma natural se encuentra tanto en formaciones puras como mixtas (Bracciotti *et al.*, 2003), y es apta para su inclusión en sistemas agroforestales (Franco *et al.*, 2016; Dube *et al.*, 2016).



Figura N° 3
PLANTACIÓN DE PINO PIÑONERO ESTABLECIDA A 2.016 msnm EN LA CORDILLERA DE LOS ANDES

Su piñón es muy apreciado como fruto seco por su excelente calidad, estando entre las nueve especies productoras de frutos secos más importantes del mundo (Fady *et al.*, 2004). No obstante, los esfuerzos tendientes a su domesticación son bastante recientes, no existiendo variedades o cultivares definidos que se usen a nivel productivo (Mutke *et al.*, 2007a).

Existe solo una variedad, denominada *fragilis* por la fácil apertura de su piñón con cáscara, que no se cultiva debido a su rápido deterioro (Bussotti, 1997).

Existen varias razones que explican esta situación. Desde el punto de vista biológico, es una especie de difícil propagación clonal, que inicia la etapa reproductiva tardíamente (15-20 años); de





polinización anemófila, lo que dificulta la realización de cruzamientos controlados; la producción de piñas se produce en yemas preformadas apicales, lo cual limita el manejo de la copa para mejorar la producción; y la maduración del fruto tarda 3,5 años, encontrándose simultáneamente en el árbol piñas de 1, 2 y 3 años de edad, con vecería o añerismo.

Desde el punto de vista socio cultural, y dado que es un fruto principalmente recolectado en bosques naturales, es considerado como un producto forestal no maderero. Todo ello limita su mirada como cultivo intensivo al cual aplicar técnicas avanzadas de fruticultura, necesarias para optimizar la productividad de la especie, lo que se ha empezado a hacer en Chile.

Se considera una especie con baja variabilidad genética (Fallour *et al.*, 1997; Gómez *et al.*, 2002; Alía *et al.*, 2003; Nasri *et al.*, 2005a; Gordo *et al.*, 2007; Vendramin *et al.*, 2008; Sánchez-Gómez *et al.*, 2009), aislada en términos genéticos y con baja aptitud para hibridar con otros pinos (Vendramin *et al.*, 2008).

Mutke *et al.* (2005b) estudiaron el efecto del genotipo en parcelas injertadas, el que determina menos la producción de piñas que el tamaño del árbol, considerando relevante optimizar las condiciones de cultivo y favorecer el desarrollo vegetativo de los árboles para aumentar la producción.

La superficie de pino piñonero en el mundo alcanza 657.515 ha, de las cuales más del 70% se ubica en España, 10% en Portugal y 6% en Turquía e Italia; también existen poblaciones importantes en Francia, Norte de África e Israel (Martín y González, 2000; Mutke *et al.*, 2000).

Dados los múltiples usos que se ha dado a la especie, especialmente para producción de piñones, se ha difundido y cultivado desde la antigüedad (CABI, 2012), resultando difícil determinar con claridad dónde es autóctona y dónde ha sido introducida.

Webb *et al.* (1984) consideran que su distribución natural corresponde a la Península Ibérica, en el norte y este del Mediterráneo (33-44°N); otros autores señalan su origen en el oeste de la cuenca del Mediterráneo (Agrimi y Ciancio, 1994), mientras que Feinbrun (1959) lo sitúa en el este, especialmente Turquía y el Líbano.

Estudios arqueológicos y paleobotánicos han datado restos de la especie en diferentes épocas históricas (Martínez *et al.*, 2003), incluyendo el pleistoceno superior hace unos 50.000 años; el paleolítico superior, el neolítico, la edad de bronce y el mesolítico (Salas-Salvado *et al.*, 2005), mostrando que el hombre usó madera de pino piñonero como combustible y consumió sus piñones desde hace miles de años (Borrero, 2004).

La especie ha sido introducida en África (Libia, Túnez, Argelia, Marruecos, Zimbabue y Sudáfrica), Asia (Georgia, Rusia, Irak, Israel y China), Norteamérica (California, EE.UU.), Sudamérica (Argentina, Chile, Brasil y Uruguay), Europa (Albania, Rusia y Croacia) y Oceanía (Australia y Nueva Zelanda).

A principios del siglo XX se estableció en Australia, donde se ha identificado una variedad muy vigorosa y altamente productiva denominada Walker (Figura N° 4), que tiene la particularidad de desprender las piñas en forma espontánea antes que se abran, lo que reduce las labores de la cosecha solo a la recogida de las piñas desde el suelo, con una importante reducción del costo de esta faena.



Figura N° 4
RODAL DE 30 AÑOS DE VARIEDAD WALKER, AUSTRALIA

1.2.- EL PINO PIÑONERO EN CHILE

Varias coníferas exóticas fueron introducidas al país por inmigrantes europeos desde el siglo XVII, inicialmente como especies ornamentales y más tarde para controlar erosión y estabilizar dunas. El pino piñonero en particular fue introducido por colonizadores españoles e italianos como parte de su cultura y gastronomía, adaptándose muy bien, como ha sucedido en el país con numerosas especies, entre ellas el *Pinus radiata*. De hecho, en ciertas zonas se observa presencia de regeneración natural alrededor de las copas de grandes árboles, no siendo una especie invasiva (Simberloff *et al.*, 2010).

El Dr. Sven Mutke³, durante la visita realizada a Chile el año 2009, indicó que el potencial de crecimiento del pino piñonero en Chile parece elevado desde el punto de vista biológico-agronómico, comparable con las mejores situaciones de Portugal (Mutke, 2009), señalando que Chile podría tener un nivel productivo significativo, comparable a las máximas de Portugal, o incluso superiores.

Entre 1890 y 1920, el pino piñonero fue empleado por Federico Albert, científico alemán que desempeñó un importante papel en el desarrollo de la ciencia forestal en Chile, para estabilizar dunas y dar sombra y protección al ganado en la región del Maule (Figura N° 5).

³ Sven Mutke. Centro de Investigación Forestal CIFOR, INIA. España.



Más tarde, entre 1930 y 1950, el Ministerio de Tierras y Colonización realizó acciones que se reflejan en la existencia de majestuosos individuos aislados de más de 1 m de diámetro (Figura N° 6). Posteriormente, en el marco del Plan Chillán (1955 a 1962) se establecieron ensayos con numerosas especies forestales, entre ellas pino piñonero, plantadas en grupos de 25 árboles para proporcionar sombra a animales, lo que explica la existencia en las antiguas provincias de Maule, Ñuble y Concepción de árboles aislados o pequeños bosquetes de más de 50 años, con interesante desarrollo. En 1967 el Departamento Forestal de la Dirección General de Agricultura y Pesca realizó una siembra aérea de la especie en la precordillera de Ñuble y Bio Bio, la que no fue evaluada.



Figura N° 5
PLANTACIÓN DE 100 AÑOS ESTABLECIDA A ALTA DENSIDAD PARA FIJAR DUNAS, CHANCO, REGIÓN DEL MAULE (IZQ.) Y BOSQUETE ESTABLECIDO PARA PROPORCIONAR SOMBRA AL GANADO, EL CARMEN, REGIÓN DEL BIO BIO (DER.)



Figura N° 6
EJEMPLAR DE GRAN TAMAÑO ESTABLECIDO POR ACTIVIDADES DE FOMENTO DEL ENTONCES MINISTERIO DE TIERRAS Y COLONIZACIÓN (AÑO 1940 APROXIMADAMENTE)

Más tarde su presencia se amplió, sobre todo en zonas rurales de mayor fragmentación de la propiedad, por el interés que reviste para sus habitantes.

Se estima que existen cerca de 800 hectáreas, de las cuales 100 establecidas antes del 2014 entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos, y el resto posteriormente, en los últimos 3 años, cuando se han realizado plantaciones orientadas a la producción de piñones, que superaron las 100 ha en 2014 (Loewe *et al.*, 2014a), más de 350 ha en 2015 (Loewe, 2015) y sobre 200 ha el 2016, existiendo proyecciones de ulterior crecimiento en el corto y mediano plazo.

Adicionalmente a la producción de piñones, la especie reviste interés por su uso potencial de captura de carbono, lo que ha motivado la realización de estudios alométricos requeridos para su cuantificación (Correia *et al.*, 2010).

Se prevé que en Chile se establezcan plantaciones con este objetivo adicional a la producción frutal (Unda⁴, com. pers., 2016), representando el ingreso por la venta de créditos de carbono,

4. Alfredo Unda, 2016. Mikro-Tek Chile.



cuyo precio ha venido aumentando, un interés especial, sobretodo en la fase inicial y hasta que se alcanza una producción de piñones en régimen.

Chile presenta características edafoclimáticas que permiten el cultivo de *Pinus pinea* en importantes áreas, donde la especie ha mostrado adaptarse bien por más de un siglo, mostrando un crecimiento y una productividad comparables, e incluso superiores, a su hábitat nativo, lo que permite su establecimiento y aprovechamiento comercial. Esta importante potencialidad ya fue descrita por Albert (1909) hace más de 100 años, en uno de sus inspiradores y certeros libros.

Existen ejemplares de la especie entre las regiones de Coquimbo (clima árido seco) y Los Lagos (clima templado húmedo) (Figura N° 7), en forma de árboles aislados, bosquetes, cortinas cortaviento y plantaciones tradicionales, lo que ratifica la plasticidad de la especie para adaptarse a diferentes condiciones ambientales y de manejo.

Específicamente, se ha constatado la presencia de la especie en más de 150 localidades, con gran diversidad de edades, desde plantaciones nuevas a otras que superan 110 años.

Ávila *et al.* (2012) determinaron las áreas potenciales para el cultivo de la especie en Chile entre las regiones de Coquimbo y la Araucanía, concluyendo que existe una superficie potencial de 8,7 millones de hectáreas que serían aptas para el cultivo de la especie sin riego. De esta superficie, 1,2 millones de hectáreas serían de alta productividad frutal, concentradas en las regiones de Bio Bio y la Araucanía, y más de 3,6 millones de hectáreas de productividad media. Si se considera el uso de riego, la superficie potencial ascendería a 9,3 millones de hectáreas. Adicionalmente, la especie reviste gran interés desde el punto de vista de la protección ambiental, objetivo con el que podrían establecerse casi 2 millones de hectáreas en zonas con precipitación anual entre 250 y 350 mm.

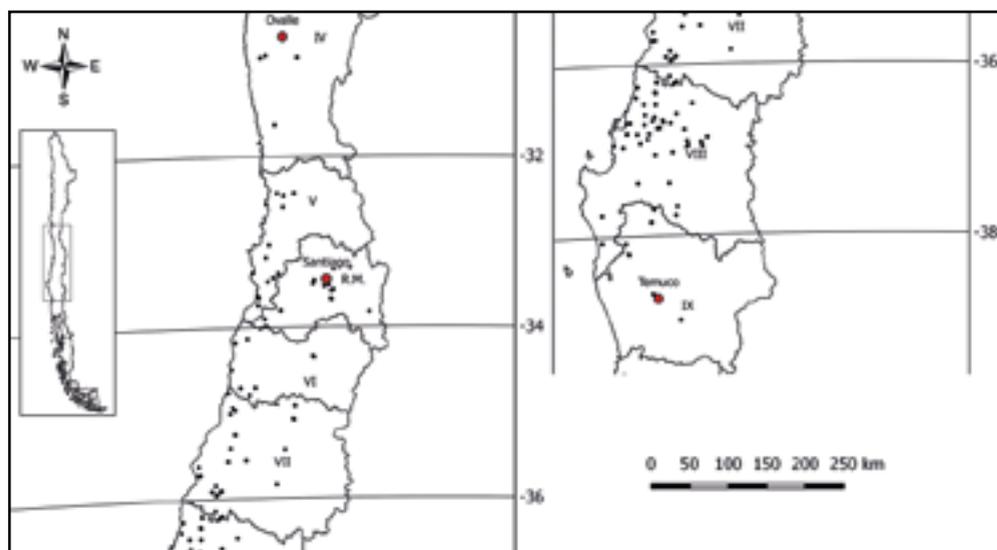


Figura N° 7

ZONAS EN QUE SE CONCENTRAN LAS DIFERENTES FORMACIONES DE PINO PIÑONERO EN CHILE

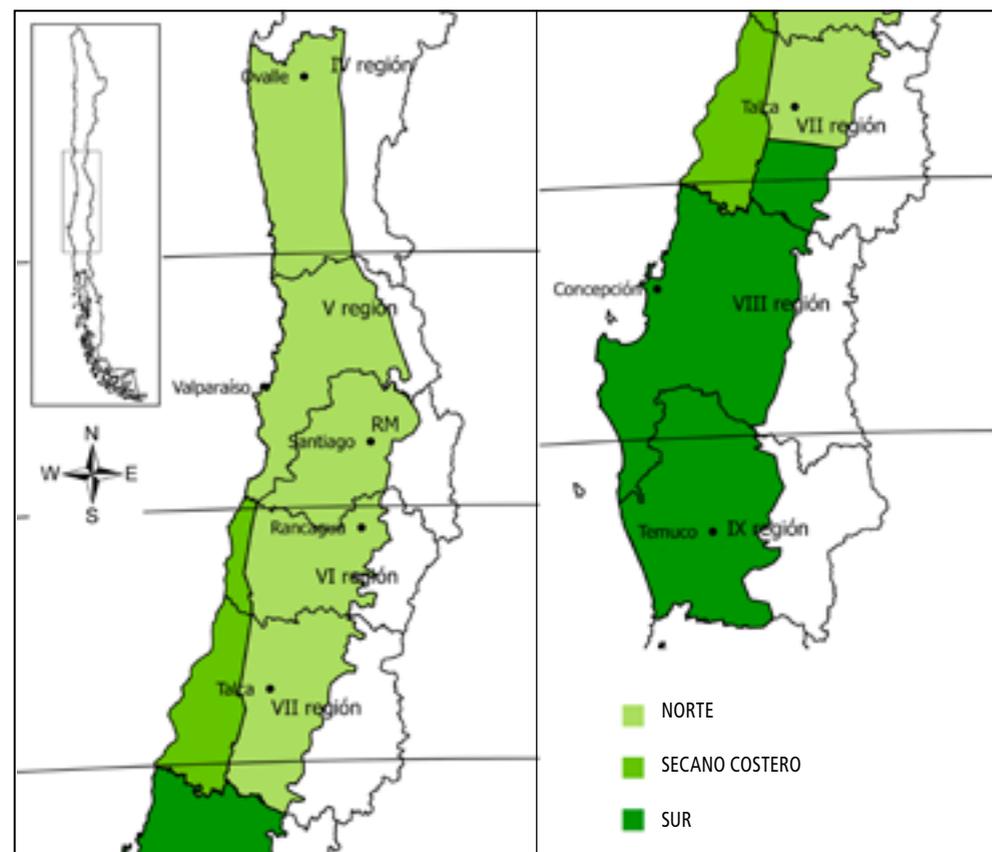


Loewe *et al.* (2015), basándose en un censo de 4.094 árboles distribuidos en 143 sitios, de diferentes formaciones de pino piñonero ubicadas entre las regiones de Coquimbo y la Araucanía, identificaron tres macrozonas (MZ) de crecimiento de la especie en Chile (Figura N° 8).

La macrozona Norte abarca desde la región de Coquimbo hasta la Metropolitana, y en el valle central entre las regiones de O'Higgins y Maule.

La macrozona de Secano Costero se ubica entre las regiones de O'Higgins y norte de la región del Bio Bio en áreas con influencia oceánica, incluyendo la provincia de Cauquenes.

La macrozona Sur incluye las regiones de Bio Bio y La Araucanía y la parte del sureste de la región del Maule.



IV región: Coquimbo; V región: Valparaíso; VI región: O'Higgins; VII región: Maule; VIII región: Bio Bio; IX región: La Araucanía.

Macrozona Norte: 5.997.459 ha; Macrozona Secano Costero: 911.351 ha; Macrozona Sur: 4.596.801 ha.

Figura N° 8

MACROZONAS PARA PINO PIÑONERO EN CHILE





La evaluación económica privada considerando diferentes escenarios de precios, productividad y productos, revela la conveniencia económica del cultivo de la especie, así como los significativos impactos socioeconómicos y ambientales que conllevaría su cultivo en Chile (Loewe y Delard, 2012a).

1.3.- CICLO REPRODUCTIVO

Es una especie monoica, con flores de ambos sexos en el mismo individuo, cuya aparición no es sincrónica (Castaño *et al.*, 2004). Las flores masculinas son oblongo-cilíndricas de 10-12 mm, agrupadas en espigas alargadas de las ramas inferiores, que aparecen antes que las femeninas (Gilman y Watson, 1994). Estas son ovoides, de 20 mm de largo, verdosas o rojizas con ombligos agudos, solitarias o en escaso número, sobre pedúnculos erectos, ubicadas al final de los brotes anuales de ramas situadas en la parte alta de la copa (Borrero, 2004).

La polinización es anemófila, dado que los granos de polen están dotados de estructuras que les permiten volar unas semanas; después de la polinización se inicia un ciclo que se prolonga por tres años (García de Pedraza y Pallares, 1989; Castaño *et al.*, 2004), siendo la característica del ciclo reproductivo de la especie, que la distingue de otros pinos, en los que usualmente dura dos años (Figura N° 9).

Durante los nueve meses siguientes a la polinización, la piña no sufre cambios visibles en forma externa, aunque en su interior ocurren procesos vitales para los embriones como son la vacuolización de la megaspora, el desarrollo de tejido esponjoso y la autonomía de la nucela (Abellanas, 1990), con un crecimiento limitado de la piña que, de acuerdo a Gordo *et al.* (2005), ocurre cerca de un año después de la polinización (piña de 2 años).

Entre abril y agosto del año 3 en España (equivalentes a octubre y febrero en Chile), ocurre el crecimiento y desarrollo principal de la piña (Mutke *et al.*, 2005b; Gordo *et al.*, 2005).

La fecundación se realiza en abril en el lugar de origen de la especie, dos años después de la polinización (Abellanas, 1990). La adaptación del ciclo reproductivo a la zona central de Chile se presenta en el Cuadro N° 1.

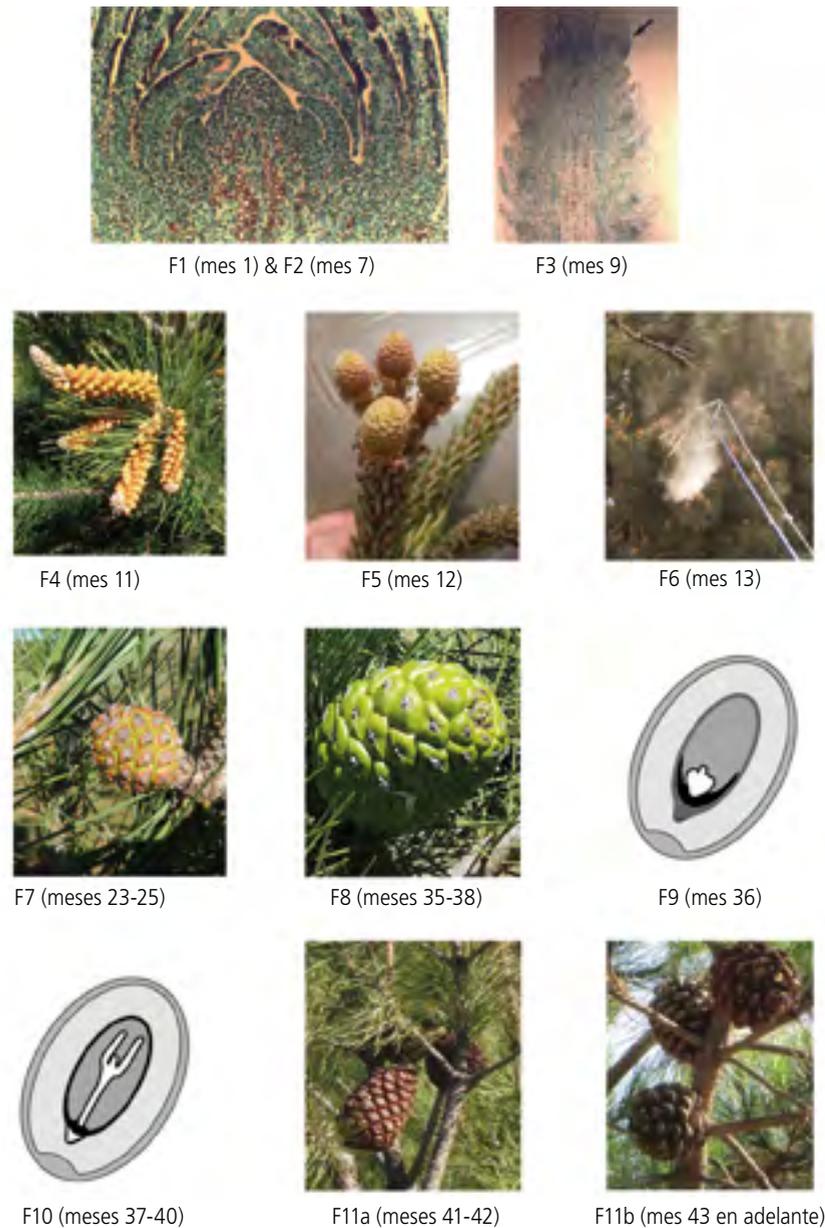
Cuadro N° 1
CICLO REPRODUCTIVO DEL PINO PIÑONERO EN LA ZONA CENTRAL DE CHILE

Año	Fase Fisiológica o Fenológica	Mes											
		A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J
0	F1 Inducción de primordios masculinos												
	F2 Inducción de primordios femeninos												
1	F3 Diferenciación brotes reproductivos												
	F4 Floración masculina												
	F5 Floración femenina												
	F6 Polinización												
2	F7 Crecimiento de la piña de 2 años												
3	F8 Crecimiento de la piña de 3 años												
	F9 Fecundación												
	F10 Desarrollo del embrión												
	F11 Maduración de la piña												

(Fuente: Loewe *et al.*, 2016a).

Los estróbilos, denominados piñas o conos, cuando maduros son ovoides, grandes, de 8-14 cm de largo y 7-10 cm de ancho, de forma globosa, lustrosos, de color pardo-rojizo, con escamas de consistencia leñosa y apófisis casi plano (Molina, 1991), ensanchados hacia el ápice (Sabillón, 2001) y recubiertos por una capa de resina. Son sésiles o con un pedúnculo muy corto, simétricos y gruesos (Figura 10). Se ubican en los brotes anuales de ramas situadas en la parte alta de la copa (Castaño *et al.*, 2004), generalmente solitarios, ocasionalmente de a dos o tres (Crawford, 1995); persisten en el árbol durante varios años, aun después de la dispersión de las semillas. En cada bráctea normalmente se encuentran dos semillas. Los estróbilos femeninos de uno y dos años son globosos, erectos o casi horizontales (Borrero, 2004).





F1 (mes 1) & F2 (mes 7)

F3 (mes 9)

F4 (mes 11)

F5 (mes 12)

F6 (mes 13)

F7 (meses 23-25)

F8 (meses 35-38)

F9 (mes 36)

F10 (meses 37-40)

F11a (meses 41-42)

F11b (mes 43 en adelante)

Inducción de primordios masculinos (F1) y femeninos (F2); diferenciación de brotes reproductivos (F3), floración masculina (F4), floración femenina (F5), polinización (F6); crecimiento de la piña de 2 años (F7), crecimiento de la piña de 3 años (F8), fecundación (F9), desarrollo del embrión (F10) y maduración de la piña (F11a) y diseminación de la semilla (F11b). Fotografías de las fases F1, F2 y F3 se tomaron de Abellanas (1990); dibujos en base de Abellanas y Pardos (1989); otras fotografías pertenecen a Loewe *et al.* (2016a).

Figura N° 9
FASES DEL CICLO REPRODUCTIVO DEL PINO PIÑONERO



Figura N° 10
PIÑAS MADURAS CON PEDÚNCULO CORTO Y GRUESO CARACTERÍSTICO DE LA ESPECIE

Las semillas son leñosas, ovaladas, de 17-18 mm de largo, 8-10 mm de ancho y 8 mm de espesor, poseen una testa gruesa que les permite conservar por varios años su facultad germinativa, son de color café opaco con largo de alas variable (3-20 mm) (Crawford, 1995), están cubiertas con un polvo negro conocido como cisco.

En su interior se encuentra el piñón, de 15-16 mm de largo y 5 mm de espesor, de forma alargada, color blanco amarillo y consistencia harinosa (Carnevale, 1955), constituido por el endoderma primario y por el embrión, ambos comestibles. La cantidad de semillas varía entre 1.000 y 2.708/kg (Gil y Prada, 1993; Gordo *et al.*, 1999; Borrero, 2004).

1.4.- PRODUCTIVIDAD

Un estudio reciente (Loewe *et al.*, 2016a) constató una entrada en producción adelantada en relación a las poblaciones de su área de distribución natural en el Mediterráneo europeo, donde





comienza a fructificar alrededor de los 15-20 años (Bussotti, 1997), habiéndose observado en Chile individuos con fructificación desde los 8 años, e incluso antes.

La productividad frutal es diferente a lo largo del país, aun cuando las variables analizadas muestran valores interesantes en comparación con el rango de distribución natural de la especie.

La producción media de piña en Chile, 57 piñas/árbol (Cuadro N° 2), representa una producción de 28 kg/árbol, elevada en comparación a Portugal, donde la producción fluctúa entre 6,6 y 21,3 kg/árbol (Pinheiro *et al.*, 2003; Gonçalves y Pommerening, 2012), pero inferior a la obtenida en Líbano (40 kg/árbol) (Sfeir, 2011).

Cuadro N° 2
PRODUCTIVIDAD FRUTAL DE PINO PIÑONERO SEGÚN MACROZONAS DE CHILE

Variables Productivas	Macrozona			Media Nacional
	Norte	Secano Costero	Sur	
Piña				
N° Piñas/árbol	49	59	62	57
Peso a la cosecha (g)	480,7	489,5	513,4	495,0
Largo (cm)	10,7	11,2	12,1	11,3
N° Piñones con cascara/piña	93	107	106	100
Piñón				
N° Piñones pelados /piña	87	94	101	94
Peso del Piñón con cascara (g)	0,94	0,85	0,97	0,94
Peso del Piñón pelado (g)	0,22	0,18	0,21	0,21
Rendimiento de Piña a piñón pelado (%)	3,7	3,5	4,3	3,9
Producción de Piña (kg/100 árboles)	2.355	2.888	3.183	2.821
Producción de Piñón pelado (kg/100 árboles)	87	101	137	110

(Fuente: Loewe *et al.*, 2016a)

Tanto la cantidad de piñas/árbol como el peso de las piñas aumentan de norte a sur, junto al incremento en la precipitación anual (383 a 1.047 mm/año), concordando con Yagüe (1994). Con 100 árboles/ha, que es una densidad deseable en bosques en Portugal (Correia *et al.*, 2010) y en España (Montero *et al.*, 2008; Mutke *et al.*, 2012), en Chile se esperaría una producción creciente de norte a sur, tanto en piña (2.355 a 3.183 kg/ha) como en piñón blanco (87 a 137 kg/ha), con ganancias del 35% y 57%, respectivamente.

En Italia la producción de piña fluctúa entre 500-1.500 kg/ha (Crawford, 1995); en Portugal entre 700-900 y hasta 7.000 kg/ha (Rodrigues *et al.*, 2014); en Túnez la media es de 1.599 kg/ha (Schróder *et al.*, 2014), y en Argentina, 2.700 kg/ha (Ottone, 1989). Por ello, el potencial de pro-

ductividad frutal en Chile es alto, especialmente en zonas donde el clima es más favorable, como en el sur.

Las características morfológicas de piñas, piñón con cáscara y blanco (pelado), así como el rendimiento de piña a piñón blanco, se estudiaron en árboles seleccionados por su mayor carga frutal, observándose variaciones entre macrozonas. Las poblaciones de la macrozona Sur presentaron piñas más pesadas (513 g) y mayor rendimiento de piña a piñón blanco (4,3%), mientras que las de la macrozona Norte presentaron piñas más livianas (481 g) con menos semillas (93 unidades por piña). La del Secano Costero mostró el menor rendimiento de piña a piñón blanco (3,5%) (Cuadro N° 2).

Las piñas de árboles seleccionados son más pesadas que en España (192 a 382 g) (Mutke y Roig, 2007; Mutke *et al.*, 2012), y que en Portugal (227 a 304 g) (Gonçalves y Pommerening, 2012). El peso de la piña se correlaciona con el peso del piñón con cáscara y blanco, coincidiendo con Álvarez (2010) y Calama *et al.* (2015).

Respecto al tamaño de las piñas, se observó una media de 11,3 cm de largo y 9,4 cm de diámetro, valores que aumentan de norte a sur, superiores a los observados por Bilir (2009) en Turquía (8 y 5,6 cm respectivamente). La cantidad promedio de piñones con cáscara por piña (100) supera valores reportados en Túnez (Boutheina *et al.*, 2013), y fue inferior en la macrozona Norte, donde alcanzó el mismo valor señalado para Turquía (93) (Bilir, 2009). La cantidad media de piñón blanco por piña es 94, inferior en el norte (87), lo que se debería a la falta de polen durante la polinización dado que la especie es poco frecuente en el área.

El peso medio del piñón con cáscara alcanza 0,94 g, superior en la macrozona Sur (0,97 g) e inferior en la del Secano Costero (0,85 g), siempre mayor que los 0,6 g reportados por Mutke *et al.* (2012). El tamaño del piñón con cáscara fue de 1 y 2 cm de diámetro y largo, respectivamente, con valores mayores en el norte de Chile, similares a los de España (Cárcel *et al.*, 2012). El peso medio del piñón blanco es de 0,21 g a lo largo del país, encontrándose los menores valores en la macrozona del Secano Costero (0,18 g).

El rendimiento medio de piña a piñón con cáscara alcanza 19,1%, similar al de Portugal (19,2%) (Silveira, 2012), y superior a valores reportados en la Meseta Norte España (11,2 - 12,4%) (Calama *et al.*, 2014).

El rendimiento medio de piña a piñón blanco alcanza 3,9%, siendo mayor en el sur (4,3%), superior a los valores de la cosecha 2013/14 en España (1,1 a 3,1%) y Portugal (3,1%) (Calama *et al.*, 2014).

Se observó que el 6,6% de los piñones con cáscara fue vano o dañado (Loewe, 2016), inferior a lo reportado en Croacia, donde 15,4% de los piñones son vanos o deteriorados (Jakovljevic *et al.*, 2009); en Túnez (Boutheina *et al.*, 2013) y en España, donde han aumentado desde menos de 10% a 39% (Sousa *et al.*, 2012), alcanzando incluso el 50% (Mutke *et al.*, 2016). Del total de los piñones no viables, 16% estaban dañados (daño tipo I de acuerdo a Calama *et al.*, 2015), 29% vanos y 55% no desarrollados con apariencia de pepa deshidratada (Loewe 2015, información no publicada); las dos últimas categorías se deberían a la falta de polen observada en numerosas plantaciones.





1.5.- SANIDAD

En Europa se ha detectado una reducción significativa de algunas poblaciones (Testi *et al.*, 2007), presentándose en muchos bosques de la especie síntomas de disminución y/o deterioro debido a problemas fitopatológicos, incendios acentuados en los últimos años por el cambio climático (Molina *et al.*, 2011), erosión costera por cambios en las corrientes marinas, estrés hídrico y daños por fauna que consume piñones (Peruzzi *et al.*, 1998).

La producción mundial de piñones ha mostrado en la última década una disminución progresiva muy importante debida al ataque del insecto *Leptoglossus occidentalis* (Figura N° 11) (Mutke *et al.*, 2014), y se prevé que este problema se mantenga por un largo periodo e incluso se agrave. Este insecto es originario del oeste de EE.UU., desde donde se expandió hacia el este de ese país, a Canadá y a México. En Europa es citado por primera vez en Italia en 1999 y luego en España el 2003 (Domínguez, 2011) y Portugal el 2010 (Calado, 2011), propagándose en forma progresiva, con un comportamiento invasor a todos los principales países productores del hemisferio norte.

El insecto ataca las piñas de 1 año, la mayoría de las cuales posteriormente cae, y aquellas que sobreviven y continúan su desarrollo tienen un alto porcentaje de piñones vanos, reduciéndose el rendimiento desde 3,5 - 4% tradicional hasta menos de 1,8% (Calama *et al.*, 2014), e incluso hasta un 0,8% (Loewe y González, 2011, 2012).

El control de la plaga se está estudiando, existiendo los mayores avances en Italia dado el alto impacto que ha tenido en la producción, habiéndose importado desde Canadá un parasitoide de sus huevos, el himenóptero *Gryon pennsylvanicum* (Roversi *et al.*, 2011), como parte del programa de control nacional, encontrándose en etapa de cuarentena y reproducción.

Chile está en condiciones de aprovechar esta coyuntura de mercado a través del fomento de plantaciones y huertos injertados de la especie, dado que en el país, así como en todo el hemisferio sur, no está presente este agente de daño, lo que permitirá su cultivo generando empleo, actividad económica e ingreso de divisas.

Los resultados de la evaluación fitosanitaria de la especie en Chile realizada por González (2012), que indica ausencia de plagas y enfermedades de importancia, fue ratificada por Loewe *et al.* (2015), lo que refuerza la oportunidad de Chile como potencial productor de este fruto.



Figura N° 11
EJEMPLAR DE *Leptoglossus occidentalis*





2.- EL PIÑÓN MEDITERRÁNEO, UN INTERESANTE FRUTO SECO

Mariane Lutz y Verónica Loewe M.

2.1.- LOS FRUTOS SECOS Y SU IMPORTANCIA EN LA DIETA

Los frutos secos corresponden a semillas en las que la pared del ovario endurece al madurar, como es el caso de las almendras (*Prunus amygdalis*), avellanas (*Corylus avellana*), nueces (*Juglans regia*), pistachos (*Pistachia vera*) y el piñón de pino (*Pinus pinea*). Generalmente se incluye en este grupo al maní (*Arachis hypogea*), aunque desde el punto de vista botánico corresponde a una leguminosa, debido a que presenta algunas características similares a los frutos secos. Estos han formado parte de la dieta humana por milenios.

Numerosos estudios epidemiológicos y clínicos asocian el consumo de frutos secos a menor riesgo de enfermedades cardiovasculares, diabetes, inflamación, síndrome metabólico y otros que, en conjunto, reducen las enfermedades crónicas. Adicionalmente, el consumo total de frutos secos se relaciona negativamente con la mortalidad por causas múltiples y específicas, como cáncer, diabetes, cardiovascular, respiratoria, entre otras (Estruch *et al.*, 2006; Jenkins *et al.*, 2008; Salas-Salvadó *et al.*, 2008; Casas-Agustench *et al.*, 2010; Heffron *et al.*, 2015; Grosso *et al.*, 2015). Recientemente, Van den Brandt y Schouten (2015) en un meta análisis relacionaron el consumo de frutos secos con la menor mortalidad por todas las causas.

En consecuencia, con los resultados de estudios observacionales y experimentales realizados, los frutos secos se reconocen como alimentos saludables. El consumo frecuente de frutos secos se asocia con una reducción del riesgo de infarto al miocardio y muerte por isquemia cardíaca, lo que se relaciona con la composición lipídica de estos productos, que presenta una alta relación de ácidos grasos (AG) insaturados a saturados y contienen AG poliinsaturados (AGPI) de las familias n-6 y n-3. Su composición química (lípidos, minerales, fibra, antioxidantes y otros compuestos bioactivos) también les otorga propiedades de regulación de la presión sanguínea y de la función endotelial, contribuyendo a reducir el riesgo cardiovascular, además de inducir saciedad.

Desde que el sobrepeso y la obesidad se han constituido en problemas de salud a nivel global, el consumo de frutos secos se comenzó a restringir, debido a su alto contenido de grasas. Su alta densidad calórica (aporte calórico por unidad de peso), que alcanza un rango de 550 a 750 kcal/100 g, llevó a que muchos los consideraran como poco saludables, al ser sospechosos de inducir un aumento de la grasa corporal. Sin embargo, estas semillas forman parte de la dieta mediterránea tradicional y las personas que adhieren a esta dieta muestran una menor tendencia al sobrepeso y la obesidad. Más aún, desde hace algunos años la evidencia científica indica que el consumo regular de frutos secos no es un factor responsable de la acumulación de grasas en el organismo (Ros, 2015; Lutz y Luna, 2016), sino que por el contrario, numerosos estudios epidemiológicos muestran una asociación inversa entre la frecuencia de consumo de estos alimentos y el índice de masa corporal (IMC, kg/m²) y el riesgo de obesidad. Al analizar los distintos componentes de la dieta mediterránea, se ha demostrado que los frutos secos son el único componente que se asocia





consistentemente en forma inversa con la adiposidad corporal, y al comparar con dietas control, aquellas que contienen frutos secos no aumentan el peso, el IMC ni la circunferencia de cintura.

El efecto de los frutos secos sobre el peso corporal se atribuye a distintos factores, relacionados con sus propiedades sensoriales, nutricionales y físicas. Entre los mecanismos asociados al efecto no promotor de la ganancia de peso corporal se ha señalado su poder de otorgar saciedad a la dieta, destacando su efecto sobre la secreción de hormonas reguladoras de la ingesta, al actuar sobre el apetito y la saciedad, reducir la bioaccesibilidad de los nutrientes calóricos, promover el gasto energético o la termogénesis al activar las vías de oxidación de lípidos y la expresión de la enzima desacoplante UCP1 (que promueve la pérdida de calor), además de promover la masticación, dado que cada semilla tiene una estructura diferente y requiere de un distinto grado de masticación, proceso que induce saciedad por diferentes mecanismos (Cassady *et al.*, 2009). La saciedad es inducida principalmente por dos hormonas: la colecistokinina (CCK) y el péptido similar a glucagón (GLP-1); la CCK se libera desde el duodeno a la sangre en respuesta a los AG o las proteínas ingeridas, en tanto que el GLP-1 se produce en el íleon como respuesta a los AG e hidratos de carbono, afectando el control de la ingesta. Además, se ha observado que los frutos secos enteros sacian más que los molidos, como la mantequilla de maní (Pasman *et al.*, 2008; Maljaars *et al.*, 2009; Mattes y Dreher, 2010).

Por otra parte, se ha descrito que la energía disponible a partir de los frutos secos es entre 9 y 32% menor al valor calculado por los factores de Atwater (que señalan que 1 g grasa entrega 9 kcal; 1 g de hidratos de carbono 4 kcal y 1 g de proteínas 4 kcal) (Baer *et al.*, 2016), lo que se puede asociar a la digestibilidad propia de cada fruto seco. Adicionalmente, se ha descrito que la ineficiencia en la obtención de energía a partir de estas semillas se debería en parte a la mayor excreción o pérdida de grasa por la vía fecal, lo que se atribuye a la estructura de los gránulos de almacén de lípidos en las paredes celulares parenquimales de la semilla, en parte asociados a fibra, que resisten la degradación por las enzimas digestivas al transitar por el tracto digestivo, afectando a la vez la bioaccesibilidad de los lípidos y proteínas para ser absorbidos, permaneciendo en parte intactos en el intestino (García-Lorda *et al.*, 2003; Tan *et al.*, 2014; Grundy *et al.*, 2015).

El efecto cardioprotector de los frutos secos se asocia a la calidad de su materia grasa. Las semillas contienen entre 40 y 75 g de aceite/100 g, el cual posee principalmente AG insaturados, principalmente oleico (C18:1n-9) y linoleico (C18:2n-6), además de compuestos bioactivos como fitoesteros, tocoferoles y escualeno, con propiedades saludables (Wolff y Bayard, 1995; Alasalvar y Bolling, 2015). En Estados Unidos la FDA el 2003 aprobó el mensaje saludable o claim "la evidencia científica sugiere que el consumo de frutos secos (aproximadamente 40 g/día), como parte de una dieta baja en grasas saturadas y colesterol, puede reducir el riesgo de enfermedad cardíaca" (FDA, 2003), habiendo otros países establecido mensajes similares.

Es posible que el efecto anti-lipogénico se asocie en gran medida a presencia de fitoesteros, cuyos representantes más comunes son el campesterol, el beta-sitosterol y el estigmasterol. El contenido de estos compuestos en piñón mediterráneo es destacado, a lo cual se atribuye su capacidad para reducir los niveles de colesterol LDL, al inhibir la absorción del colesterol de la dieta. El rol de los fitoesteros y fitoestanoles (derivados saturados de los esteroides) en mejorar el perfil lipídico en el organismo humano es reconocido, y su consumo se considera como parte de las recomendaciones dietéticas para pacientes hipercolesterolémicos. Más aún, Ibarrola-Jurado *et*

al. (2013) observaron en una cohorte del estudio PREDIMED en Europa que el consumo de frutos secos se asocia inversamente con la prevalencia de obesidad, síndrome metabólico y diabetes en sujetos con alto riesgo cardiovascular.

2.2.- COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL PIÑÓN DE PINO

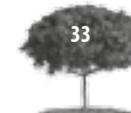
La composición química del piñón mediterráneo varía de acuerdo a la zona y condiciones de cultivo, entre otros factores. El pino piñonero (*P. pinea*) que lo produce es capaz de sobrevivir en condiciones muy adversas, lo que afecta la composición de las semillas. La mayoría de la información disponible a este respecto procede de la Zona Mediterránea (Italia, España, Portugal y Turquía), aunque también se encuentra en el norte de África e Israel. En Chile se ha caracterizado el piñón producido en el país con resultados muy promisorios, comprobándose que es un fruto seco de alto valor saludable, con excelentes propiedades organolépticas, y que es posible que Chile se convierta en un país productor del "diamante de los frutos secos" en el corto plazo (Lutz *et al.*, 2016).

El valor saludable del piñón se debe a una composición química peculiar; como otros frutos secos, posee alta densidad energética, con alto contenido de lípidos (44 a 74 g/100 g) (Ros y Mataix, 2006; Ryan *et al.*, 2006; Evaristo *et al.*, 2010; Sabaté y Wien, 2010; Kornsteiner *et al.*, 2013; USDA, 2015), que poseen características saludables como una alta proporción de AG mono insaturados (AGMI) y AGPI. Estos dos grupos abarcan cerca del 90% del total de AG presentes en el aceite y, aunque la mayoría de los frutos secos presenta mayor proporción de AGMI, principalmente oleico, este piñón exhibe un perfil en que predominan los AGPI, siendo más abundante el linoleico (Nergiz y Dönmez, 2004; Nasri *et al.*, 2005a; Ros y Mataix, 2006; Ryan *et al.*, 2006; Venkatachalam y Sathe, 2006; Ros, 2009; Evaristo *et al.*, 2010; Kornsteiner *et al.*, 2013).

Por otra parte, las proteínas del piñón alcanzan 30 a 40 g/100 g, destacando una buena proporción de sus aminoácidos constituyentes (Evaristo *et al.*, 2010; USDA 2015). Asimismo, contienen muy poco almidón, otro factor que contribuye a su valor saludable; minerales (destacando potasio, fósforo, magnesio y calcio), vitaminas (destacando B1 y B2, ácido fólico, tocoferoles, tocotrienoles), y entre 4 y 11 g/100 g de fibra dietética (Nergiz y Dönmez, 2004; Evaristo *et al.*, 2010). Además, contienen diversos compuestos bioactivos saludables tales como antioxidantes polifenólicos, carotenoides, escualeno y fitoesteros, que impactan favorablemente la salud humana (Bolling *et al.*, 2011; Alasalvar y Bolling, 2015). A la presencia de los nutrientes y compuestos bioactivos presentes en el piñón, que pueden actuar en forma sinérgica, se atribuyen sus propiedades de protección metabólica. Por estas razones, este fruto seco podría ser considerado como un alimento funcional.

2.2.1.- Piñones Cultivados en Chile

En el proyecto FONDEF D111134 se cosechó piñón mediterráneo en tres macrozonas geográficas ubicadas entre las regiones de Coquimbo y la Araucanía, cubriendo una longitud de 1.000 km, denominadas como Norte (N), Secano Costero (SC) y Sur (S) (n=42, 89 y 36 árboles muestreados, respectivamente). Las piñas se colectaron entre junio y noviembre de 2013. La cantidad de árboles muestreados se calculó tomando en consideración la variabilidad de cada macrozona climática,





para tener una muestra representativa de cada una de ellas. Después de obtener los piñones con cáscara, estos se conservaron en mallas plásticas etiquetadas a temperatura ambiente, hasta que se pelaron en forma manual previo a su análisis químico.

El análisis proximal de los piñones, es decir, su contenido de humedad, cenizas o minerales totales, proteínas, grasas y fibra, reveló que el componente predominante es la grasa, en un rango de $42,25 \pm 0,33$ a $46,92 \pm 0,07$ g/100 g, seguido de la proteína, en un rango de $32,09 \pm 0,14$ a $35,25 \pm 0,10$ g/100 g. El contenido de grasas y proteínas resultó diferente según la macrozona de donde provienen los piñones, aunque en términos de su valor nutritivo estas diferencias no son relevantes y todos son una buena fuente de estos macronutrientes (Ruggeri *et al.*, 1998; Nergiz y Dönmez, 2004; Evaristo *et al.*, 2010).

En cuanto al perfil de AG presentes en el aceite, se observó un predominio de AGPI (48,01 a 51,08% de los AG), siendo el más abundante el linoleico, seguidos de AGMI (37,13 a 40,92%), con un alto contenido de oleico. El resultado es consistente con lo descrito en la literatura para el piñón de pino, en que predomina el ácido linoleico (cerca del 46%) y el oleico (alrededor de 38%). En otras especies de pino, como el *P. pinaster*, se ha descrito la presencia de los ácidos pinoleico y sciadónico (Shahidi y Miraliakbari, 2005). También se ha encontrado ácido pinolénico en cantidades desde 0,0 a 3,7 g/100 g aceite en piñones de otros pinos (Wolff y Bayard, 1995; Wolff *et al.*, 2000; Bağcı *et al.*, 2004; Nasri *et al.*, 2005), especialmente *Pinus sibirica*. Este AG no fue detectado en los piñones chilenos analizados, aunque sí anteriormente (Escalona, 2005).

La fibra dietética total fue similar en las tres macrozonas, con valores de $11,60 \pm 0,14$ a $11,83 \pm 0,12$ g/100 g, predominando la fibra insoluble (Lutz *et al.*, 2016).

Estos resultados indican que los piñones cultivados en Chile contienen niveles de proteínas, grasas y fibra dietética superiores a otros frutos secos como las nueces, almendras y avellanas, de consumo más frecuente en el país.

Los piñones no son una buena fuente de compuestos antioxidantes del tipo de los polifenoles, como es el caso de las semillas que se consumen con la piel que las recubre, como nueces y avellanas (Pellegrini *et al.*, 2006). Los polifenoles totales presentaron un rango de $0,27 \pm 0,01$ a $0,39 \pm 0,00$ mg EAG/g, muy inferior a lo descrito por Alasalvar y Shahidi (2008) y Alasalvar y Bolling (2015). La capacidad antioxidante (ORAC) observada en piñones chilenos fue de $8,44 \pm 0,02$ a $8,60 \pm 0,03$ μ mol TE/g, similares a los descritos por estos mismos autores (7,19 μ mol TE/g) y otros (Wu *et al.*, 2004; Kornsteiner *et al.*, 2006).

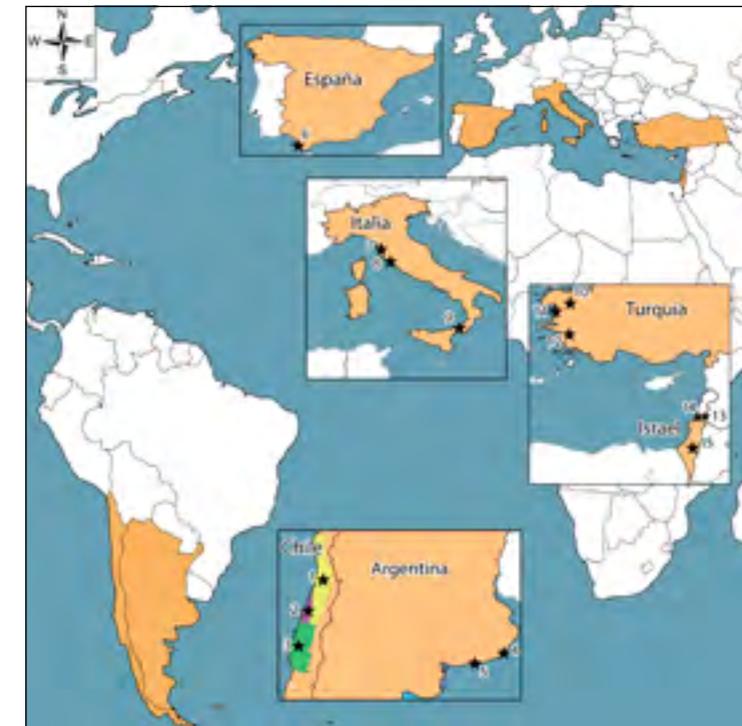
Los piñones no son una buena fuente de vitamina C y los principales antioxidantes de la semilla son los tocoferoles, la principal forma de la vitamina E contenida en el aceite. Esche *et al.* (2013) observaron que los niveles de tocoferoles son muy altos en los piñones de pino (0,33 mg/g piñón). La principal vitamina E en piñones de las tres macrozonas chilenas fue γ -tocoferol, en un rango de $75,61 \pm 2,92$ a $134,69 \pm 4,58$ μ g/100 g aceite. Por otra parte, mientras el sitoesterol, el estigmaesterol y el campesterol constituyen el 60 a 80% de los fitoesteroles en la mayoría de las plantas, la predominante en los piñones de pino es el β -sitoesterol. En las semillas chilenas este alcanzó niveles de $1.576,55 \pm 0,05$ a $1.948,81 \pm 0,03$ μ g/100 g aceite, coincidente con lo descrito por Nasri

et al. (2007), quienes analizaron siete poblaciones de piñones de países Mediterráneos de Europa y observaron niveles muy altos (4.376 mg/kg), siendo el más abundante el β -sitoesterol (74%) en todos los piñones de *P. pinea* analizados.

2.2.2.- Piñones Cultivados en Seis Países

Con el objetivo de comparar la composición de piñones de pino cultivados en diferentes países (Figura N° 12), se escogieron quince áreas de producción ubicadas en Italia (3 zonas), Turquía (3 zonas), España (1 zona), Israel (3 zonas), Argentina (2 zonas) y Chile (3 macrozonas ya descritas), durante el invierno de 2013 o 2013/14.

El análisis proximal de las muestras reveló que la humedad fue más elevada en los piñones de Italia (5,1 g/100 g) y más baja en las muestras provenientes de Israel (3,7 g/100 g); el contenido de proteínas mostró un rango desde 32,1 (Italia y Argentina) a 36,6 g/100 g (Israel); los lípidos o grasas variaron desde 34,7 (Israel) a 45,3 g/100 g (España); las cenizas o minerales variaron entre 4,1 (España y Turquía) y 4,7 g/100 g (Israel), y la fibra dietética total tuvo un rango entre 9,8 (Argentina) y 14,6 g/100 g (Italia).



- | | | | | |
|------------------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|
| 1 Macrozona Norte (Chile) | 4 Miramar (Argentina) | 7 Cecina (Italia) | 10 Balıkesir (Turquía) | 13 Ortal (Israel) |
| 2 Macrozona Secano Costero (Chile) | 5 Claromecó (Argentina) | 8 Feniglia (Italia) | 11 Bagyüzü (Turquía) | 14 Bar'ham (Israel) |
| 3 Macrozona Sur (Chile) | 6 Cádiz (España) | 9 Calabria (Italia) | 12 Aydın (Turquía) | 15 Yatir (Israel) |

Figura N° 12
ZONAS DE COLECTA DE PIÑONES
PARA CARACTERIZACIÓN INTERNACIONAL DE PIÑONES MEDITERRÁNEOS

Las principales diferencias observadas entre piñones de diferentes países están en su contenido de proteínas, fibra dietética total, humedad y minerales. Al hacer el análisis de los componentes principales mediante un biplot, que explicó el 67% de la variabilidad, se observó que las diferencias más importantes se presentaron entre los piñones de Argentina y Chile, los de Israel y Turquía, que forman dos grupos diferentes de los de Italia y España. Los piñones producidos en Sudamérica en zonas con una elevada oscilación térmica y precipitación, poseen una composición química similar. Aquellos de Italia se caracterizan por presentar el mayor contenido de fibra dietética total y humedad; los de España son diferentes, con el contenido más elevado de lípidos, lo que se relaciona con temperaturas medias y mínimas medias más elevadas. Por otra parte, los piñones de Turquía e Israel mostraron una composición similar, con el mayor contenido de proteínas.

Las variables climáticas que influyeron sobre el contenido de fibra fueron: a) la temperatura media mínima, ya que la fibra fue 21,3% más alta por encima de 8,4°C, y b) la temperatura media máxima, observándose que el contenido de fibra fue 22,3% más alto por encima de 22,4°C. Las cenizas o minerales fueron afectadas por la cantidad de meses secos, observándose que aumentaron 9,3% por encima de 5,5 meses secos, y la humedad fue afectada por la oscilación térmica, definida como la temperatura media anual máxima absoluta menos la temperatura media anual mínima absoluta, que fue 22% mayor por debajo de 8,4°C.

Aun cuando se analizaron semillas provenientes de zonas geográficas y condiciones agroclimáticas diversas, desde un punto de vista nutricional todos los piñones de pino analizados exhibieron buenas propiedades nutricionales, lo que justifica su incorporación en una dieta saludable. Los principales componentes de los piñones son las grasas, las proteínas y la fibra, en tanto que su contenido de hidratos de carbono es bajo, lo cual los convierte en una muy buena elección en la alimentación con fines de prevención de diabetes, síndrome metabólico y otras patologías crónicas no transmisibles de alta prevalencia.

Los resultados revelan que el *P. pinea*, árbol ancestral de la cuenca del Mediterráneo, también puede ser cultivado con éxito en Sudamérica, contribuyendo a diversificar la agricultura, y que los piñones de pino representan una oportunidad para la industria agroalimentaria. Por otra parte, la composición de los piñones provenientes de diferentes países, con diferentes condiciones ambientales, revela la diversidad de las muestras analizadas, lo que constituye información relevante a considerar al establecer valores de referencia.

3.- REQUERIMIENTOS DE CLIMA Y SUELO

Claudia Delard R. y Verónica Loewe M.

3.1.- CLIMA

Es una especie heliófila, requiere luz (Figura N° 13), y xerófila, adaptada a vivir en ambientes secos (Figura N° 14) (Gutiérrez, 2007), y puede ubicarse tanto en zonas costeras como en áreas continentales (Gordo *et al.*, 1999; Mutke, 2005a).



Figura N° 13
ÁRBOLES ADULTOS ESTABLECIDOS A ALTA DENSIDAD QUE AL LIBERARSE A SU ALREDEDOR SE HAN INCLINADO BUSCANDO LUZ. LLICO, REGIÓN DEL MAULE

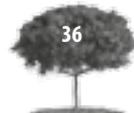


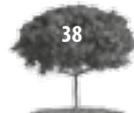


Figura N° 14
EJEMPLARES DE PINO PIÑONERO ESTABLECIDOS EN ZONA SEMIÁRIDA DE CHILE

En su hábitat nativo, el pino piñonero puede desarrollarse en climas templado cálidos o templado fríos, secos o húmedos (Carnevale, 1955). Necesita un clima algo cálido, con menos de 150 días fisiológicamente secos. Soporta largos períodos de humedad ambiental reducida y ofrece resistencia al viento, incluido el costero salino (Borrero, 2004), que reduce su crecimiento (Sabillón, 2001).

Está adaptado a condiciones de secano, creciendo con precipitaciones anuales desde 250 mm (Sobarzo, 2004; Borrero, 2004) y hasta 1.500 mm (Montoya, 1990), aunque se ha reportado que su óptimo varía entre 500 y 800 mm (Castaño *et al.*, 2004; CABI, 2012), con un régimen de lluvia invernal, con 4 a 6 meses secos (Gordo *et al.*, 1999; Mutke, 2005a).

Pino piñonero tolera altas temperaturas (media anual entre 11,7°C y 17,7°C) y también podría soportar un periodo de hasta 2 meses con fuertes heladas (mínimas absolutas hasta -12°C, e incluso -23°C) (Trap, 1996). La temperatura media máxima del mes más cálido varía entre 20-22°C (García de Pedraza y Pallares, 1989) hasta 25-35°C (Webb *et al.*, 1984); la media mínima del mes más frío fluctúa entre 4 y 14°C (García de Pedraza y Pallares, 1989), pero sobre 0°C (Montoya, 1990), y la temperatura media anual varía entre 14 y 18°C (Webb *et al.*, 1984). Desde el punto de vista vegetativo, los mejores crecimientos, sin embargo, se registran con temperaturas medias entre 12 y 15°C (CABI, 2012).



Puede desarrollarse en un amplio rango altitudinal, desde el nivel del mar hasta 2.500 msnm (Webb *et al.*, 1984), lo que se ha corroborado en Chile en la región Metropolitana sobre 1.800 msnm (Figura N° 15).



Figura N° 15
PLANTACIÓN DE PINO PIÑONERO ESTABLECIDA EN EL CAJÓN DEL MAIPO (1.880 msnm)
REGIÓN METROPOLITANA

3.1.1.- Influencia del Clima en el Crecimiento

En Chile se han realizado detallados estudios sobre el impacto del clima en el crecimiento y fructificación de la especie (Loewe *et al.*, 2015; Loewe *et al.*, 2016a), cuya información se presenta a continuación.

Un estudio efectuado en 129 poblaciones de pino piñonero distribuidas desde la región de Coquimbo hasta la Araucanía mostró tasas de crecimiento medio en diámetro a la altura del pecho (1,3 m (DAP)) de 1,24 cm/año y en altura de 32 cm/año, superiores a los observados en otros países, incluyendo su hábitat nativo (Mutke *et al.*, 2012; Natalini *et al.*, 2013), lo que evidencia que Chile presenta características edafoclimáticas que permiten el cultivo de *P. pinea* en importantes áreas del país, donde la especie se ha adaptado por más de un siglo, lo que posibilita su establecimiento con fines comerciales.

En dicho estudio se definieron tres macrozonas (MZ) de crecimiento para la especie en Chile, (Figura N° 8) observándose crecimientos superiores a mayor disponibilidad hídrica. De acuerdo a Castillo *et al.* (2002), el hecho que no se haya detectado el impacto de la sequía estival, con ex-





cepción de la altura en una situación particular (en la MZ Norte con temperaturas medias anuales sobre 14,3°C), puede deberse a la adaptación de la especie a largos periodos de sequía gracias a un sistema radicular profundo que le permite acceder a aguas subterráneas.

Se ha reportado que estaciones secas prolongadas, asociadas a déficit hídrico, afectan el crecimiento del pino piñonero (Pasho y Alla, 2015; Natalini *et al.*, 2016); de hecho, los resultados obtenidos por Loewe *et al.* (2015) muestran que un reducido déficit hídrico (inferior a 400 mm) en primavera incrementa el crecimiento en altura en un 30% y que una precipitación anual sobre 1.398 mm lo eleva en un 70%. En la MZ del Secano Costero se encontró que bajas precipitaciones reducen el crecimiento en diámetro, en concordancia con otros estudios (El-Khorchani *et al.*, 2007; Mazza *et al.*, 2013; Natalini *et al.*, 2013), lo que se explicaría por la baja capacidad de retención hídrica de sus suelos. Por otro lado, se observó que una elevada oscilación térmica de invierno (superior a 14,3°C) más que duplica el crecimiento en altura.

Los resultados (Cuadro N° 3) muestran que la temperatura media anual es relevante tanto para el crecimiento en DAP como en altura, siendo en ambos casos mayor (49 y 67%, respectivamente) con temperaturas medias anuales por debajo de 14,3°C, umbral inferior a los 16°C identificado en Túnez para el crecimiento diamétrico (Thabeet *et al.*, 2007). La importancia de la temperatura media fue corroborada en un ensayo ubicado en la zona costera de Chile central (Pichilemu), donde mediciones diarias del crecimiento diamétrico evidenciaron que éste se activa con una temperatura media de 11,6°C y se reduce drásticamente cuando alcanza 15°C.

Cuadro N° 3
VARIABLES CLIMÁTICAS QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO DEL PINO PIÑONERO EN CHILE

Crecimiento	Oscilación Térmica* Invierno	Temperatura Media Anual	Temperatura Media Mínima	Precipitación Anual	Déficit Hídrico** Primavera
Diámetro		< 14,3°C (49%)	< 6,6°C (18%)		
Altura	>14,3°C (2,2 veces)	<14,3°C (67%)		≥ 1.398 mm (70%)	≤ 400 mm (30%)

(Fuente: Loewe *et al.*, 2015)

Valores entre paréntesis corresponden al aumento esperado de la variable dependiente bajo las condiciones climáticas identificadas como clave para la producción.

* Oscilación térmica: temperatura media máxima absoluta, menos temperatura media mínima absoluta.

** Déficit hídrico: precipitación acumulada del periodo menos la evapotranspiración potencial del mismo periodo.

El efecto de la temperatura mínima media anual fue relevante para el crecimiento en DAP, con un umbral de 6,6°C, siendo un 18% superior bajo dicho valor, contrariamente a lo indicado por otros autores como Galli *et al.* (1992), quienes correlacionaron el crecimiento radial y la temperatura mínima media invernal, estableciendo que una disminución de 1°C causa un 13% de decrecimiento del ancho de los anillos. Esto se debería a que la ocurrencia de heladas fuertes (-5 a -15°C) que dañan las raíces (Oliet *et al.*, 2014) no son comunes en la zona en que se ha plantado el pino piñonero en Chile.



Aun cuando estos resultados son relevantes para seleccionar zonas de plantación para la especie, debería considerarse que estos procesos funcionales están muy relacionados con el tamaño de los árboles y que se modifican a medida que envejecen (De Luis *et al.*, 2009), siendo su tamaño más importante que su edad (Peñuelas, 2005). De hecho, un estudio reciente (Macinnis *et al.*, 2016) señala que periodos de baja disponibilidad hídrica afectan más a ciertos grupos etarios, siendo los árboles más grandes más capaces para sobrevivir a sequías.

Estos resultados destacan la relevancia de la temperatura para la especie, lo que también fue observado en el tipo de proteínas presentes en piñones cosechados en el país, entre las que se encuentran proteínas de choque térmico, pero ninguna de respuesta a sequía (dehidrinas), de modo que un hábitat más fresco le permite vivir con menor disponibilidad hídrica, lo que explicaría el interesante comportamiento que presenta la especie en Chile.

Por consiguiente, y a la luz del cambio climático con temperaturas crecientes y precipitación decreciente, se podría prever una reducción de las tasas de crecimiento de la especie, especialmente en las macrozonas Norte y del Secano Costero.

Respecto al vigor, el 62,8% de los árboles estudiados presenta un vigor elevado, encontrándose el más alto en la MZ Sur (74,1%), y el menor (44,4%) en el Secano Costero.

3.1.2.- Influencia del Clima en la Fructificación

Desde el punto de vista productivo, un reciente estudio (Loewe *et al.*, 2016a) evidenció la relevancia de las variables climáticas en la productividad frutal de la especie, confirmando que tanto la precipitación como la temperatura son variables climáticas importantes para la fructificación del pino piñonero a lo largo de Chile (Figura N° 16). Sin embargo, su importancia relativa varió entre macrozonas para casi todos los caracteres frutales analizados, que fueron más elevados en la MZ Sur, donde también se registró el mayor crecimiento vegetativo, con una productividad frutal un 26% superior respecto a la MZ Norte.

Se determinó (Cuadro N°4) que una reducida oscilación térmica, y en primavera un reducido déficit hídrico y una elevada precipitación, tienen un impacto positivo elevado en la producción de piñas (CN). En particular, una oscilación térmica otoñal bajo 12°C favorece la producción en un 125%, periodo en que se verifica la inducción de los primordios femeninos.

Por otra parte, una temperatura mínima en primavera, cuando la floración femenina ocurre, sobre 7°C, tiene un efecto positivo (205% superior). Asimismo, una oscilación térmica sobre 6°C en la fase de diferenciación de brotes reproductivos tiene un efecto negativo en CN.





Figura N° 16
EJEMPLAR DE PINO PIÑONERO ADULTO
CON ABUNDANTE FRUCTIFICACIÓN EN LOS ÚLTIMOS 3 AÑOS

La precipitación es determinante para la productividad frutal en ciertos periodos clave del desarrollo de la piña, favoreciendo la producción con una elevada disponibilidad hídrica durante la formación de los primordios, polinización y crecimiento de las piñas de 3 años hasta su maduración (Mutke *et al.*, 2005a), y por una elevada precipitación durante la floración (Calama *et al.*, 2007a, b; UNAC, 2014).

En Chile se cuantificó el efecto de la precipitación y del estrés hídrico en CN, encontrando una relación positiva con la disponibilidad hídrica de primavera, y también se encontró un efecto negativo de una elevada precipitación (>70 mm) durante la floración masculina, en concordancia con Parlak *et al.* (2013).

Según Calama *et al.* (2007b), la calidad de la piña se puede expresar a través de su peso, que controla factores como el rendimiento, la proporción de piñones vanos o dañados y el tamaño del piñón, siendo el peso importante por cuanto piñas más pesadas muestran un mayor rendimiento en piñón blanco, producen piñones más grandes, con y sin cáscara, y tienen una menor proporción de piñones vanos o dañados. En Chile, el peso medio de la piña de árboles seleccionados fue de 495 g/piña, superior a valores reportados en España, Portugal y Túnez (Mutke, 2005a; Gonçalves y Pommerening, 2012; Schröder *et al.*, 2014).

El efecto significativo del clima del año en el peso de la piña ha sido observado por Calama *et al.* (2008b). Al respecto, en Chile se encontró que una precipitación anual sobre 507 mm incrementó significativamente el peso de la piña (CW) en un 29%, alcanzando valores medios de 549 g. Esto concuerda con varios autores, como Mutke *et al.* (2006), quienes reportaron pesos de piña infe-

riores a 200 g con precipitaciones anuales bajo 400 mm; Fontes *et al.* (2013), quienes indicaron una elevada dependencia de la producción de piña en el estrés hídrico, y un efecto importante de la precipitación de fines de primavera-verano en el peso y tamaño de la piña y de los piñones; y Calama *et al.* (2007b) quienes observaron que el CW de la próxima cosecha se ve afectado por la precipitación del verano hasta el invierno.

Este estudio identificó que la precipitación acumulada durante la fase de crecimiento de la piña de 2 años impactó significativamente en el CW, y que un estrés hídrico inferior a 774 mm durante el desarrollo del embrión, lo incrementa en un 23%. También se observó un efecto significativo de la temperatura en dicha fase, cuando temperaturas máximas sobre 23°C incrementan CW en más del 25%.

Respecto a la cantidad de piñones con cáscara por piña (IS), este aumenta con temperaturas máximas de otoño bajo 19°C, pero disminuye con un déficit hídrico elevado, sobre 914 mm.

Cuadro N° 4
VARIABLES CLIMÁTICAS QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCIÓN Y PESO DE PIÑA
Y EN LA CANTIDAD DE PIÑONES POR PIÑA EN CHILE

Variable Dependiente	Temperatura Máxima Otoño	Temperatura Media Anual	Precipitación	Precipitación de Primavera	Déficit Hídrico*	Déficit Hídrico Primavera	Oscilación Térmica**	Oscilación Térmica Otoño
N° Piñas/ árbol (CN)				≥ 65 mm (46%)		≤ 345 mm (60%)	< 12°C (43%)	< 12°C (125%)
Peso de la piña (CW)		> 14°C (38%)	≥ 507 mm (29%)		≤ 914 mm (27%)			
N° Piñones con cáscara / piña (IS)	≤ 19°C (18%)				≤ 914 mm (37%)			

(Fuente: Loewe *et al.*, 2016a)

Valores entre paréntesis corresponden al aumento esperado de la variable dependiente bajo las condiciones climáticas identificadas como clave para la producción.

* Déficit hídrico: precipitación acumulada del periodo menos la evapotranspiración potencial del mismo periodo.

**Oscilación térmica: temperatura media máxima absoluta, menos temperatura media mínima absoluta.

3.2.- SUELO

Pino piñonero es una especie de alta plasticidad y presenta importantes variaciones de crecimiento y desarrollo según las condiciones de sitio. Puede sobrevivir muchos años en condiciones muy adversas (Gordo *et al.*, 2009).

Prefiere suelos profundos, arenosos con materia orgánica (Akgül e Ylmaz, 1991), aunque puede crecer en suelos delgados, pobres en nutrientes (Montoya, 1990).

Es exigente en cuanto a aireación del suelo (Montoya, 1990) y predomina sobre sustratos ácidos (Crawford, 1995; Borrero, 2004), aunque se puede encontrar en terrenos de pH entre 4 y 9 (Sabillón, 2001).

Las variables que más determinan su crecimiento y desarrollo son la textura (contenido de limo y arcilla) y la capacidad de retención de humedad (Bravo y Montero, 2005). En general se encuentra en suelos de texturas leves a moderadas (Webb *et al.*, 1984) como las franco-arenosas (Gordo *et al.*, 1999; Mutke, 2005a), francas y limosas, pero no tolera los de textura arcillosa (Gordo *et al.*, 2009) que determinan un mal drenaje.

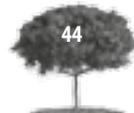
La profundidad del suelo efectivamente disponible para las raíces es determinante para el desarrollo de árboles de la especie, como se aprecia en la Figura 17, donde aquellos árboles de la izquierda tienen acceso a un suelo 1,5 a 3 veces más profundo que los de la derecha, con evidentes efectos en el crecimiento.



Figura N° 17
PLANTACIÓN DE PINO PIÑONERO DE 19 AÑOS
CASABLANCA, REGIÓN DE VALPARAÍSO

Un estudio realizado en Chile (Ávila *et al.*, 2012) mostró que la especie crece bien en diferentes tipos de suelo, incluyendo arcillosos (como los rojo arcillosos), contrariamente a lo indicado por varios autores que señalan el contenido de arcilla como factor limitante (Abellanas, 1990; Gandullo y Sánchez-Palomares, 1994; Gordo *et al.*, 2009).

No obstante ello, no debe plantarse en suelos arcillosos con mal drenaje, ya que esta situación determina menor crecimiento y fructificación.



4.- TIPO DE PLANTACIÓN

Verónica Loewe M. y Claudia Delard R.

4.1.- SELECCIÓN DEL TIPO DE PLANTACIÓN

A la hora de decidir establecer una plantación para producir piñones, existen diferentes tipos de plantación cuya selección depende de los objetivos y prioridades del propietario y de diversos criterios de orden práctico.

Objetivos del Propietario: La plantación debe diseñarse en función de los objetivos del propietario, que pueden ser múltiples. Por ello, se sugiere identificarlos y priorizarlos a fin de incluirlos debidamente en el diseño final.

Aptitud del Sitio para el Desarrollo de la Especie: Es necesario efectuar un estudio detallado del sitio considerando tanto las características del terreno (al menos mediante un análisis físico y de fertilidad completo), del clima y topográficos, incluyendo aspectos no observables fácilmente, como el viento, entre otros.

Presencia en el Área de Individuos Adultos de la Especie: Estos proporcionan polen para posibilitar una entrada en producción temprana (Figura N° 18).



Figura N° 18
ESTABLECIMIENTO DE NUEVA PLANTACIÓN EN SECTOR ALEDAÑO A INDIVIDUO ADULTO
PAREDONES, REGIÓN DE O'HIGGINS



Capacidad de Gestión: Corresponde a la capacidad de ejecución a nivel operativo, la que depende del grado de presencia en el predio del propietario y de la disponibilidad de trabajadores confiables en forma permanente o al menos en determinados periodos del año, que en su conjunto determinan la capacidad real de acción para realizar las actividades orientadas a favorecer el desarrollo de la especie y protegerla.

En general los propietarios o inversionistas que no viven cerca del lugar de plantación poseen una capacidad de gestión limitada, aun cuando cuenten con personal permanente en el predio.

Capital Disponible: Este factor define básicamente dos aspectos, la inversión inicial posible de realizar y el tipo de manejo factible, pudiéndose diseñar plantaciones que requieren más o menos capital, lo que determinará, junto al punto anterior, la intensidad del manejo a implementar. Por ejemplo si la disponibilidad es elevada, podrán mecanizarse algunas labores e intensificarse el manejo.

Características Locales: Incluye factores como disponibilidad y precio de la mano de obra, presencia de centros poblados que aumenten el riesgo de daños y otros factores socio-culturales.

Una vez realizada la evaluación anterior podrá definirse con criterios técnicos la intensidad de manejo (intensivo, extensivo, o semi-intensivo) en función del capital disponible y de la capacidad de gestión.

El modelo a seleccionar puede corresponder a alguno de los indicados a continuación.

a) Plantación para Obtención de Piñones: Corresponde a una plantación pura especializada que debe regirse por prácticas típicas de la silvicultura o fruticultura, según la intensidad de manejo seleccionada (Figura N° 19).



Figura N° 19
PLANTACIÓN PURA DE 4 AÑOS ORIENTADA A LA PRODUCCIÓN DE PIÑONES
VALDIVIA, REGIÓN DE LOS RÍOS



b) Plantación para Obtención de Madera y Piñones: Corresponde a una plantación, pura o mixta, con doble propósito, que debe regirse por prácticas principalmente silvícolas, aun cuando es posible incorporar algunas técnicas frutícolas.

c) Plantación para Obtención de Madera, Piñones y otros Productos: Corresponde a una plantación agroforestal, es decir que incorpora junto a los árboles cultivos agrícolas o pastoreo de animales, principalmente ovinos, que debe regirse por prácticas típicas silvícolas, ganaderas y/o agrícolas, en función de la asociación seleccionada (Figura N° 20).



Figura N° 20
PLANTACIÓN PURA DE 4 AÑOS ORIENTADA A LA PRODUCCIÓN DE PIÑONES
ASOCIADA A GANADO OVINO. EL CARMEN, REGIÓN DEL BIO BIO

Esta tercera alternativa tiene el potencial de incrementar la productividad del terreno, reducir los riesgos ambientales (como sequía y erosión), incrementar la biodiversidad y favorecer la estabilidad social (Lojka y Martinik, 2014), dignificar la actividad agraria y forestal para que no se abandone el campo al generar empleos de calidad (Fernández, 2013), y puede contribuir a mitigar el cambio climático a través de la captura de carbono, la reducción de emisiones, el fortalecimiento de la resiliencia del sistema y condiciones más favorables en un paisaje agrícola altamente fragmentado (Dube et al., 2016).

El pino piñonero en particular se integra fácilmente en sistemas agroforestales; en España se intercala con cultivos agrícolas, viñedos y praderas en baja densidad (Gordo et al., 2011). Asimismo, se ha desarrollado un modelo productivo combinado de pino piñonero y alcornoque, ambos micorrizados con la trufa de Borch (*Tuber borchii*) en el que el corcho, combinado con la piña procedente del pino piñonero, genera una de las rentabilidades más interesantes entre los productos forestales no madereros en la zona mediterránea (Morcillo et al., 2015).



Es posible combinar pino piñonero y animales (Agrimi y Ciancio, 1994), que pueden proporcionar ingresos adicionales. El pastoreo periódico tiene varios impactos positivos en plantaciones de pino, como la reducción de malezas y el crecimiento de arbustos, con su consecuente menor costo de limpieza mecánica o química periódica, y como consecuencia de lo anterior, una disminución del riesgo de incendios. Puede ser implementado con diferentes especies y en diferentes configuraciones o diseños de acuerdo a las condiciones específicas del sitio y del propietario, existiendo ejemplos en diferentes partes del mundo.

En estos casos es necesario regular la capacidad de carga para que los árboles no se dañen (Anderson *et al.*, 1988). El pastoreo fragmenta el suelo y las fecas constituyen un abono orgánico (Fernández, 2013), acelera la descomposición de la hojarasca y la incorporación de nitrógeno, y reduce la acumulación de acículas y el riesgo de incendios (Mancilla-Leyton *et al.*, 2013).

Adicionalmente, la producción agrícola/animal durante los primeros años genera ingresos que, en una plantación tradicional de pino piñonero no están disponibles hasta que se alcanza la madurez reproductiva. Por lo tanto, esta producción adicional no solo es atractiva debido a sus implicaciones económicas, sino también porque los propietarios necesitan ingresos anuales continuos, lo cual es un beneficio adicional del sistema agroforestal.

Una experiencia realizada en El Carmen, región del Bio Bio, Chile, que incluye pino piñonero, cultivo de papas y avena forrajera, y ovejas, ha mostrado resultados muy positivos durante los primeros seis años de su establecimiento (Loewe y Delard, 2015a), ya que en estas condiciones el pino piñonero ha presentado un desarrollo vigoroso y excelente sanidad. Desde el punto de vista económico, el sistema combinado es significativamente más rentable que el monocultivo de pino piñonero orientado a la producción de piñones, siendo el VAN casi siete veces superior en el sistema agroforestal (que considera producción de piñas, cultivos intercalados y ovejas) en relación con la plantación pura para producción de piña (\$2.287.751/ha vs \$327.618/ha) y el TIR se eleva de 8,4% a 12,3%. Estos resultados están en línea con experiencias de Nueva Zelanda, donde el sistema combinado es más rentable que el ganadero, agrícola o forestal de forma individual (Arthur-Worsop, 1984), y también de Australia (Garland *et al.*, 1984). No obstante que las ovejas se introdujeron en la plantación desde su establecimiento, no se verificó daño a los árboles, ya que hubo control riguroso sobre la disponibilidad de forraje y de la presión animal.

4.2.- DISEÑO

Como se ha revisado en el punto anterior, de acuerdo a los intereses del propietario y las condiciones de sitio, es posible establecer plantaciones con diferentes fines productivos, como la producción de piñones, y considerar también la producción de madera o integrar otros componentes como ganado y cultivos agrícolas.

Las investigaciones de INFOR se han orientado principalmente al conocimiento de la especie y de su silvicultura para la producción del piñón mediterráneo, razón por la cual el presente capítulo se centra en cultivos para este fin, mediante huertos establecidos con plantas injertadas y manejados con una silvicultura intensiva apropiada para optimizar la producción de piñones. Sin embargo,

también son una alternativa las plantaciones basadas en el uso de plantas de semilla (sin injertar) con una silvicultura apropiada.

Una plantación especializada idealmente debe ser adecuada para la mecanización de faenas, considerando la menor disponibilidad y el mayor costo de la mano de obra, técnicamente factible y muy superior en eficiencia (Gonçalves *et al.*, 2016).

En el diseño se debe estipular la densidad de plantación, la orientación de las hileras de plantación, y el tipo y disposición de la infraestructura de riego en caso de ser éste necesario. Además, en el diseño de huertos con plantas injertadas, es necesario considerar las posibles fuentes de polen y una silvicultura intensiva.

Las plantas injertadas (Figura N° 21) con tejido adulto de genotipos seleccionados sobre patrones de la misma especie u otra del género, permiten adelantar e incrementar la producción, reducir el tamaño de los árboles facilitando su manejo y cosecha, y homogeneizar la producción.

Los porta injertos o patrones deben seleccionarse en forma diferenciada según el sitio y el esquema de manejo definido; existen antecedentes sobre el uso de *Pinus halepensis*, que induce copas más compactas y cargadoras (Aleta y Vilanova, 2014), buscada por los sistemas frutícolas modernos por su aptitud para el manejo a alta densidad.

En Chile se ha probado el pino radiata (*Pinus radiata*) como porta injerto, con buenos resultados en zonas donde esta especie se desarrolla bien (Figura N° 22), aun cuando se reduce la resistencia a la sequía característica del pino piñonero.



Figura N° 21
PLANTA INJERTADA DE PINO PIÑONERO DE 4 AÑOS
SE APRECIAN PIÑAS DE 1, 2 Y 3 AÑOS EN DESARROLLO



Figura N° 22

PINO PIÑONERO INJERTADO SOBRE PINO RADIATA DE 3 AÑOS, Y ESTADO 5 AÑOS MAS TARDE, EN SUELO ARENOSO - CONSTITUCIÓN, REGIÓN DEL MAULE



Figura N° 23

PLANTA JOVEN DE PINO PIÑONERO CON ABUNDANTE FLORACIÓN MASCULINA CARACTERÍSTICA DE UN BUEN POLINIZADOR

Idealmente los huertos deben ser establecidos en lugares en los que haya presencia cercana de ejemplares adultos de la especie con el fin de asegurar el abastecimiento de polen. Dado que las plantas injertadas producirán prontamente flores femeninas y que las flores masculinas aparecerán más tarde, cuando no existen en las cercanías individuos maduros reproductivamente se recomienda usar polinizadores (Figura N° 23), o inicialmente recurrir a la recolección de polen en otras áreas y a una polinización asistida. También es posible acelerar la producción de polen mediante el uso de hormonas (Venegas *et al.*, 2016).

Tanto en plantaciones como en huertos productivos se recomienda la aplicación de técnicas de manejo desde el establecimiento. El énfasis de la silvicultura para la producción de piñones está en las podas de formación (Figura N° 24) y de producción, orientadas a maximizar y mantener en el tiempo la actividad productiva; la fertilización, en una primera fase orientada a cubrir déficits nutricionales determinados en función a análisis de suelo, seguida de la implementación de un programa nutricional anual orientado a la producción de piñas; el riego en caso de necesidad; el control de la competencia; y los raleos (Figura N° 25).



Figura N° 24
 PODA DE FORMACIÓN EN PLANTA DE 6 AÑOS DE EDAD (IZQ.) Y SU ASPECTO 5 AÑOS MÁS TARDE (DER.)
 PICHILEMU, REGIÓN DE O'HIGGINS



Figura N° 25
 PLANTACIÓN RALEADA AL 50% A LOS 16 AÑOS DE EDAD Y ESTADO 4 AÑOS MÁS TARDE
 TOCONEY, REGIÓN DEL MAULE

4.3.- PRODUCCIÓN DE PLANTAS DE SEMILLA

4.3.1.- Aprovechamiento y Manejo de Semillas

La cosecha de las piñas se realiza directamente de árboles provenientes, si es posible, de rodales y huertos semilleros, aunque como no siempre es posible disponer de árboles en estas situaciones, se puede colectar de individuos vigorosos y con abundante fructificación ubicados idealmente cer-

ca del área, ya que se han encontrado variaciones morfológicas y fisiológicas de plantas viverizadas con semilla de diferente origen, por lo que esto debe tenerse en cuenta al momento de la colecta o adquisición (Catalán *et al.*, 1997). En Chile no hay rodales seleccionados, por lo que se sugiere adquirir semilla de origen conocido y en lo posible de la misma macrozona en que se plantarán.

La cosecha se realiza con las piñas cerradas, en otoño-invierno, cuando están de color verde a café. Es relevante la época de recolección ya que la madurez determina el rendimiento y viabilidad de las semillas (May, 1984).

La extracción de las semillas se hace una vez que estas se sequen y abran, lo que se logra con secado al sol; como este método de secado es lento, se puede también secar artificialmente, colocando las piñas en horno a una temperatura de 60°C por al menos 2 horas, hasta que se abren. Posteriormente se remecan las piñas con fuerza para que liberen las semillas (Goor, 1964) o, mejor aún, se procesan con maquinaria que las rompe, a fin de obtener la totalidad de las semillas que contienen (González, 2014).

En la naturaleza la dispersión de las semillas se realiza por gravedad, lo que constituye una excepción dentro del género *Pinus*, ya que normalmente es anemófila (a través del viento), lo que se debe al peso de las semillas y a su ala rudimentaria, que no les permite volar (Montoya, 1990).

El rendimiento aproximado en peso de semilla limpia respecto al fruto es de 7,5 - 18% (Cuadro N° 5). El peso de semillas en su área de origen varía entre 0,4 y 0,8 g (García-Fayos *et al.*, 2001; Borrero, 2004), pero en Chile alcanza 0,9 g (Loewe *et al.*, 2016a).

Cuadro N° 5
 INFORMACIÓN SOBRE LOTES DE SEMILLAS DE *Pinus pinea*

Rendimiento Semilla/Piña (%)	Pureza (%)	Capacidad Germinativa (%)	Semillas (N°/Kg)	Referencia
20-25	95 - 98	85 - 90	1.200 - 1.500 - 2.400	Catalán, 1985
20-22				Gradi, 1989
	100	70 - 90	1.500	Ribeiro <i>et al.</i> , 2001
			1.300 - 2.123	García-Fayos <i>et al.</i> , 2001
	98	68	1.236	Navarro-Cerrillo y Gálvez, 2001
		80 - 90	900 - 2.000	Piotto y Di Noi, 2001
13-20	97 - 100	65 - 95	1.200 - 1.500 - 2.000	CNRGF El Serranillo
9,9-15,9	90 - 100	68 - 92	1.260 - 1.800	García-Fayos <i>et al.</i> , 2001

(Fuente: Modificado de Pemán *et al.*, 2014).

El número de semillas por kilogramo en su hábitat nativo varía entre 1.000 y 1.600 (Goor y Barney, 1976; Webb *et al.*, 1984; Gil y Prada, 1993) y se han observado en España hasta 2.708 semillas por kilogramo (Gordo *et al.*, 1999). Otros autores indican un rango entre 1.258 y 2.252 semillas por kilogramo (Borrero, 2004; Pemán *et al.*, 2014).

En Chile se ha observado que la cantidad de semillas por kilogramo fluctúa entre 1.299 y 1.544 (Quiróz *et al.*, 2008), variando según la localidad, con valores extremos de 714 y 2.270. Un reciente estudio (Loewe *et al.*, 2016b) determinó una media de 1.096 semillas por kilogramo, que varía según macrozonas; 1.095 en la Norte, 1.219 en la del Secano Costero y 1.049 en la Sur, lo que indica un menor peso unitario de aquellas de la zona costera de transición.

No obstante lo anterior, también se producen variaciones interanuales en el peso de la semilla (Cuadro N° 6), que se deberían a condiciones climáticas locales.

Cuadro N° 6
VARIACIÓN ANUAL DE CANTIDAD DE SEMILLAS POR KILOGRAMO
EN CUATRO LOCALIDADES DE CHILE (N° de semillas/kg)

Año	Cáhuil	Toconey	Mulchén	Antiquina
2009	1.852	1.020	1.250	1.351
2010	1.075	1.124	s/i	s/i
2011	1.190	1.042	730	1.639

(Fuente: Loewe y Delard, 2012a)

Es preferible que las semillas a emplear sean frescas y de la última cosecha, ya que su capacidad germinativa se reduce (Montoya, 1990), incluso en menos de un año (García-Fayos *et al.*, 2001). Se pueden almacenar con un contenido de humedad entre 6 y 8% conservadas a temperaturas de 4-5°C en envase hermético, manteniéndose viables en estas condiciones por 4 a 5 años.

La inmersión de la semilla en agua antes de su siembra permite la eliminación de las semillas vanas (Pemán *et al.*, 2014), además de facilitar la germinación si el remojo dura 24-48 horas.

4.3.2.- Producción de Plantas

La producción de plantas de pino piñonero se realiza mediante siembra directa en el suelo o en contenedores de diferentes tamaños, habiéndose constatado que a mayor dimensión de estos últimos se verifica un mejor desarrollo de las plantas y una menor mortalidad (Villar *et al.*, 2001). De hecho, contenedores de 150 cc producen plantas de 15,2 cm altura y 3 mm de diámetro de cuello; contenedores de 200 - 300 cc plantas de 21,4 cm altura y 3,3 mm diámetro de cuello; y contenedores de 350 - 400 cc plantas de 20 cm altura y 3,9 mm diámetro de cuello (Domínguez *et al.*, 1997, 2000b). Si bien se pueden utilizar contenedores de mayores dimensiones, de hasta 1.500 cc, la decisión depende de aspectos económicos y biológicos (Peñuelas y Ocaña, *s/f.*; Ruano, 2008).

Si los contenedores han sido bien diseñados permiten formar un buen sistema radicular en vivero, optimizan el espacio que ocupan, y además protegen las raíces durante su transporte y manipulación hasta la plantación (Ruano, 2008) (Figuras N° 26 y N° 27).

El uso de bolsas usualmente genera problemas de enrollamiento de la raíz, las que si no son podadas antes de la plantación pueden causar un menor crecimiento, e incluso la muerte años más tarde, debido al estrangulamiento que inducen.



Figura N° 26
PLANTA DE PINO PIÑONERO DE 5 MESES PRODUCIDA EN CONTENEDOR



Figura N° 27
PRODUCCIÓN DE PLANTAS DE PINO PIÑONERO EN CONTENEDOR
EN TURQUÍA (IZQ.) Y NUEVA ZELANDA (DER.)

Respecto del sustrato, se pueden utilizar distintos materiales o mezclas de ellos, siendo frecuente para estos efectos la corteza de pino compostada (G10), con buenos resultados en muchas especies forestales. Otros sustratos utilizados corresponden a mezclas de 80% turba y 20% vermiculita (Domínguez *et al.*, 2000b); turba y perlita (3:1 en vol.) (Figura N° 28); turba y corteza de pino (1:1 en vol.). En Israel se utiliza *Sphagnum* con excelentes resultados (Loewe y Delard, 2015b), ya que el sustrato debe presentar porosidad suficiente para una buena aireación, retención de humedad y extensión del sistema radicular (Montoya y Cámara, 1996). Valores de pH ligeramente ácidos son adecuados para la especie.



Figura N° 28

PRODUCCIÓN DE PLANTAS DE PINO PIÑONERO EN BOLSA CON SUSTRATO DE TURBA Y PERLITA

La siembra se puede realizar desde otoño o invierno hasta fines de primavera, dependiendo de la zona donde se ubique el vivero. En un principio se realiza usualmente en invernadero o bajo malla Raschell para, posteriormente, ir quitando la protección en la medida que las plantas van creciendo. Autores como Pemán *et al.* (2014), sin embargo, desaconsejan la viverización bajo sombra luego de la germinación por un incremento de la relación parte aérea/parte radicular y los desequilibrios morfológicos que esto induce.

Las semillas de pino piñonero no requieren tratamiento antes de la siembra y tardan 20 a 25 días en germinar, con una capacidad germinativa entre 25 y 75% (Goor y Barney, 1976) y hasta 80-90% (Piotto y Di Noi, 2001). Estos valores se pueden mejorar remojando uno a dos días las semillas en agua fría, con lo que se logra la germinación en 13-23 días (Webb *et al.*, 1984). Otros antecedentes indican valores de 76,5%, con remojo en agua por 12 horas, iniciando el proceso entre los días 9 y 10, y germinando casi la totalidad de las semillas entre los días 15 y 16 (Cañellas *et al.*, 1999). A mayor grosor de la testa se recomienda mayor duración del remojo.

Después de la germinación se deben realizar cuidados culturales periódicos para lograr un adecuado crecimiento y desarrollo, como riego, fertilización, aplicación de fungicidas y control de malezas. En relación al riego, este debe ser frecuente, por ejemplo dos riegos diarios de 10 minutos desde la siembra por 4 meses, y luego continuar de la misma forma en días soleados pero disminuyendo a dos riegos diarios de 5 minutos en días nublados. Luego los riegos disminuyen a uno diario o día por medio, 10 minutos cada vez, y los últimos meses de la temporada se riegan cada dos o tres días durante 10 minutos.

Durante la fase llamada de endurecimiento, al término de la temporada, las plantas se someten a cierto estrés hídrico progresivo de manera de provocar una adaptación a la escasez de agua, que le permita resistir el primer período luego de plantada en terreno. El pre acondicionamiento mediante un estrés hídrico moderado puede activar o acentuar los mecanismos de resistencia de las plantas a situaciones de estrés, especialmente a la sequía, y no reduce la concentración de nutrientes de la planta (Villar *et al.*, 1999).

Las dosis de riego dependerán también de las condiciones climáticas del lugar de viverización y del estado de desarrollo de la planta, considerándose una eficaz herramienta para controlar el excesivo crecimiento en altura de la parte aérea (Pemán *et al.*, 2014).

La fertilización es variable según el estado de desarrollo de la planta, recomendándose una fertilización equilibrada que permita a la planta soportar situaciones de estrés, considerando que tanto la deficiencia como el exceso de nutrientes puede alterar la calidad de la planta y su capacidad para enraizar y crecer en terreno (Ruano, 2008). Se debe mantener un equilibrio de los tres macronutrientes esenciales (NPK), según la fase de desarrollo. En la germinación e iniciación se aconseja que sea escasa o nula; en la fase de establecimiento de la plántula, mayor concentración de fósforo; en la etapa de crecimiento primaveral el nitrógeno es más relevante; y en la fase final de endurecimiento el fósforo y potasio potencian el sistema radicular y la resistencia a fatigas térmicas e hídricas (Montoya y Cámara, 1996).

A modo de ejemplo, en Chile se han probado con la especie productos con NPK 15:30:15 semanalmente (2 g/L agua) en la primera etapa hasta que alcanzan 10 cm de altura; NPK 25:10:10 alternando cada dos semanas con NPK 18:6:18 semanal (3 g/L) en la segunda etapa hasta que las plantas alcanzan 10 - 25 cm de altura; y NPK 13:6:40 (2 g/L) una a dos veces por semana en la etapa final, cuando las plantas tienen más de 25 cm de altura. Junto con los macronutrientes anteriores se ha aplicado nitrato de calcio (2 g/L) dos veces por semana.

Aplicaciones intermedias y excesivas de nitrógeno inciden en el incremento del diámetro al cuello (DAC) de las plantas, y en las relaciones peso seco aéreo/peso seco radicular y peso seco radicular/peso seco total. Mayores aportes de fósforo provocan mayores alturas y pesos secos aéreo y radicular, así como mayor número y longitud de nuevas raíces. En general, existe una relación directa entre el aumento de N y P y el contenido total de estos elementos en los tejidos aéreos y radicales de la planta, pero no así del K, cuyo aumento se refleja en los tejidos de la parte aérea (Cañellas *et al.*, 1999; Domínguez *et al.*, 2000a; Villar *et al.*, 2000b).

Adicionalmente a los fertilizantes, usualmente se aplican semanalmente en una primera etapa, productos contra hongos como Benlate (Metil-1-(butilcarbamoil)-2-bencimidazol-carbamato) y Captan (N-((triclorometil)-4-ciclohexano)) a razón de 0,5 g/L. Luego se pueden aplicar diversos fungicidas en dosis de 1 g/L de agua cada 15 días en horas de bajas temperaturas (por ejemplo Benomilo, Thiuram (TMTD), Triadimefon o Mancozeb, entre otros).

Se ha observado que la incorporación de ectomicorizas mejora la calidad de la planta y aumenta la supervivencia en plantaciones, sin embargo no es frecuente el uso de micorrización en viveros comerciales, dadas las dificultades operativas y la compatibilización de esta práctica con otros cuidados culturales; además la micorrización natural se produce con cierta facilidad en viveros

que cultivan regularmente piñonero (Pemán *et al.*, 2014). De hecho, el efecto es tan positivo que las Naciones Unidas ha reconocido esta metodología para captura de carbono (Unda, 2016, com. personal).

Por último, se recomienda un desmalezado manual cuidadoso desde el mes de la siembra. Con el conjunto de estos cuidados, las plantas están aptas para plantación después de 8 - 11 meses aproximadamente. Algunas experiencias indican alturas entre 15 y 21 cm y diámetros de cuello de 5,3 mm a los 11 meses.

Se han definido valores orientativos para atributos morfológicos y fisiológicos de plantas de pino piñonero de una temporada (Cuadro N° 7). En general, se considera que crece rápido en vivero, por lo que debe favorecerse un crecimiento equilibrado, evitando tamaños excesivos que dificultan las faenas de plantación (Pemán *et al.*, 2014).

Cuadro N° 7
ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS Y FISIOLÓGICOS
DE PLANTAS DE PINO PIÑONERO DE UNA TEMPORADA

Atributo	Valores Medios de Referencia	Valores Recomendados	Valores Mínimos Recomendados
Atributos Morfológicos			
Altura (cm)	14,8 ± 2,1	20 a 30	10 a 15
Diámetro del cuello (mm)	3,2 ± 0,9	3,5 a 4,5	2,5 a 3
Peso aéreo (PA) (g)	2,2 ± 0,8	3 a 4	2,5
Peso Raíz (PR) (g)	1,2 ± 0,6	1 a 2	1
Peso total (g)	3,3 ± 0,8	3 a 4	3
PA:PR	2,2 ± 0,15	2 a 2,5	2
Esbeltez	4,5 ± 1,4	5 a 7	5
Atributos Fisiológicos			
N foliar (mg/g)	13,1 ± 1,8	12 a 14	12
P foliar (mg/g)	2,2 ± 0,6	2 a 3	1
K foliar (mg/g)	5,3 ± 0,9	3 a 5	3
Ca foliar (mg/g)	3,9 ± 1,6	3 a 5	2
Mg foliar (mg/g)	2,7 ± 1,1	1,5 a 3	4

(Fuente: Villar-Salvador *et al.*, 2001; Palacios y Navarro Cerrillo, 2001; Domínguez-Lerena *et al.*, 2006; Navarro- Cerrillo *et al.*, 2006. citados por Pemán *et al.*, 2014)

Es común que los viveros ofrezcan plantas de dos o más temporadas, las que si no se han cambiado a un contenedor más grande, se presentan con una relación diámetro/altura y aéreo/radicular desventajosa, como las presentadas en la Figura N° 29.



Figura N° 29
PLANTAS DE TRES TEMPORADAS ETIOLADAS Y CON RELACIÓN DIÁMETRO ALTURA QUE DESFAVORECE SU ADECUADO DESARROLLO UNA VEZ LLEVADAS A CAMPO

4.4.- PRODUCCIÓN DE PLANTAS INJERTADAS

La producción de plantas injertadas se usa cuando se desea reproducir material genético de interés, inducir una temprana entrada de la producción frutal (desde los 3,5 años (Castaño *et al.*, 2004), así como aumentar la misma, facilitar el manejo y aprovechar características propias del patrón (Cutini, 2002; Mutke *et al.*, 2007c), cuya aplicación a nivel de viveros permitiría producir gran cantidad de plantas de calidad.

Las plantaciones injertadas con un número reducido de genotipos productivos selectos producen antes, más y con menor variación entre años que las plantaciones tradicionales, lo que se traduce en buena producción de piñas y calidad de piñones (Carvalho *et al.*, 2000 y Mutke, 2005). La técnica permite además reducir los costos de cosecha y facilitar el manejo (podas, tratamientos fitosanitarios, otros) (Carvalho *et al.*, 2000).

En el caso del pino piñonero, dado el interés por sus piñones, se busca principalmente adelantar la entrada en producción de piñas, además de otorgarle la característica productora del árbol adulto seleccionado, y facilitar la cosecha, ya que la altura de estos individuos es menor que la de los individuos adultos sin injertar (Borrero, 2004).

Las especies utilizadas en Europa como patrón para injertar el pino piñonero son *Pinus pinea* y *Pinus halepensis*; este último se adapta a suelos más áridos y pobres, mientras que *P. pinea* puede adaptarse a suelos arenosos (Loewe y Gonzalez, 2012). En Chile se han probado distintas especies como patrón (*P. radiata*, *P. pinea*, *P. contorta* y *P. ponderosa*), siendo pino piñonero y pino radiata las más recomendadas.

Si bien se han realizado injertos de *P. pinea* desde hace unos veinte años, no se dispone de información sobre evolución de la fructificación del injerto en toda la rotación, así como sobre los tratamientos culturales que favorecen la producción (Abellanas, 1990).

Existen varios tipos de injerto, siendo el de hendidura o sustitución de la púa terminal o apical uno de los más conocidos y empleados en Europa. Consiste en reemplazar la púa del patrón por una púa de un árbol plus, mediante la realización de una hendidura diametral realizada en la base del último crecimiento del patrón, a la que se acopla la púa (Figura N° 30) (Gil y Abellanas, 1989; Castaño *et al.*, 2004; Carneiro *et al.*, 2007; Mutke *et al.*, 2007c; ANSUB, 2008), y presenta prendimientos cercanos al 30% en vivero. También se utilizan injertos de hendidura lateral, habiéndose probado en Chile con resultados positivos sobre patrones de pino radiata y de pino piñonero (sobre 75%), muy superior en relación al prendimiento obtenido con el injerto de sustitución de púa apical. La técnica específica del injerto lateral es objeto de una patente en curso, por lo que a continuación se exponen indicaciones generales.



Figura N° 30
INJERTO DE SUSTITUCIÓN DE PÚA APICAL
USADO EN LOS PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE EUROPA

4.4.1.- Selección y Preparación de Patrones

El patrón debe ser sano y vigoroso, idealmente de dos temporadas (2 - 3 indican Castaño *et al.*, 2004, y no menos de 18 meses según Trap, 1993), con un diámetro de tallo proporcional a la púa (1 - 1,5 cm de diámetro en la base) y encontrarse en crecimiento activo, con movimiento de savia (Figura N° 31). También debe presentar un buen sistema radical, por lo que se recomienda utilizar bolsas o macetas de al menos 25 x 40 cm.

No ha habido mayor desarrollo de patrones, sirviendo para ello tanto plantas de pino piñonero como de otras especies, como *Pinus roxburghii* probado en India (CABI, 2012), o *P. halepensis*, *P. sabiniana* y *P. pinaster* (Trap, 1993). No obstante lo anterior, la elección del porta injerto es muy importante por su influencia tanto en el vigor, porte, floración y comportamiento reproductivo del injerto (Mutke, 2005), como en la posibilidad de incrementar el área de cultivo.



Figura N° 31
PATRONES DE PINO RADIATA EN PREPARACIÓN

4.4.2.- Injertación

Las púas deben provenir de árboles adultos, con buena producción frutal (Carvalho *et al.*, 2000; ANSUB, 2008).

Las púas que se injertan corresponden a las yemas terminales, ubicadas en la parte superior de la copa del árbol, donde se localizan las flores femeninas en esta especie (Gil *et al.*, 1986; Castaño *et al.*, 2004).

Las púas deben encontrarse en elongación, lo que ocurre en primavera. Se recomienda recoger máximo 50 púas/árbol para no interferir con la producción de los años siguientes; se estima que 15% de las púas colectadas no se utilizan (Castaño *et al.*, 2004).

Una vez colectadas las púas, éstas deben acondicionarse rápidamente, evitando la deshidratación (ANSUB, 2008; Carneiro *et al.*, 2007).

Para ello se eliminan las acículas que las rodean, se arman grupos o fajos de púas, debidamente identificados, y se envuelven en paños absorbentes previamente humedecidos con solución fungicida para evitar la proliferación de hongos (Loewe y Delard, 2012a), y pueden ser almacenadas pocos días hasta la realización del injerto, manteniéndose estas en recipientes con la base en agua fría y en un lugar fresco (Figura N° 32) (Castaño *et al.*, 2004; ANSUB, 2008).

La injertación debe realizarse evitando temperaturas extremas.



Figura N° 32
ASPECTO DE PÚAS COLECTADAS (a), FAJO DE PÚAS EN ACONDICIONAMIENTO (b),
COLOCACIÓN DE FAJOS DE PÚAS ENVUELTAS EN PAÑOS ABSORBENTES DENTRO DE LA NEVERA (c)
Y PÚAS ALMACENADAS EN AGUA EN ESPERA DE SER INJERTADAS (d)

4.4.3.- Manejo del Patrón Post Injerto

Una vez realizada la injertación, el manejo de los injertos incluye cuidados culturales que favorezcan su desarrollo, no siendo recomendado el riego por aspersión hasta que el injerto esté completamente cicatrizado. Se deben mantener en un lugar fresco, ojalá sombreado y protegido del viento, para evitar la mortalidad del injerto.

Las podas del patrón se definen en función del desarrollo que presentan las púas injertadas. El patrón debe cortarse totalmente, por sobre el injerto, cuando exista un evidente desarrollo longitudinal de la púa injertada.

4.4.4.- Otras Consideraciones Relativas a los Injertos

El injerto se puede realizar tanto en campo como en vivero, recomendándose esta última opción sobre todo si el personal no posee mucha práctica debido a que en vivero se tiene mayor control sobre las plantas, sobre las condiciones meteorológicas, sobre el proceso de injertación, además de ser de menor costo (Gil y Abellanas, 1989; Castaño *et al.*, 2004).

Los injertos durante unos años se comportan como individuos femeninos, es decir no producen polen, por lo que es necesario establecer huertos cerca de árboles adultos, o en su defecto realizar polinización artificial hasta que los injertos produzcan suficiente cantidad de polen. La floración femenina inicia a contar del año siguiente al injerto, y hasta 2-3 años después, pero la floración masculina nunca antes de 5 años (Carneiro *et al.*, 2007).

La habilidad del injertador es el factor de mayor relevancia en el éxito de un injerto, ya que de él depende que se realicen cortes limpios, en el menor tiempo posible, que se elija la púa adecuada (es fundamental que ambos cambium coincidan), que se realice una poda inicial adecuada a la conformación de cada planta, y que finalmente se ajuste bien la cinta para impermeabilizar la unión (Castaño *et al.*, 2004).

4.4.5.- Experiencias de Injertación

En Italia se han utilizado porta injertos o patrones de *Pinus pinea*, *P. radiata*, *P. halepensis*, *P. sabiniana* y *P. pinaster*, de al menos 18 meses, utilizando el injerto de hendidura apical (Piqué *et al.*, 2011b), con prendimientos en una plantación injertada en campo tres años después de su establecimiento del 35% (Abellanas *et al.*, 2000).

Los primeros resultados de una plantación injertada, establecida el 2008 con injertos mantenidos 5 años en condiciones limitantes en vivero, indican una entrada en producción temprana, desde 50 estróbilos/ha el 2008 a más de 3.500 el 2011 (Figura N° 33) (Bono y Aleta, 2011).



Figura N° 33
HUERTO DE PINO PIÑONERO 6 AÑOS DESPUÉS DEL ESTABLECIMIENTO CON PLANTAS INJERTADAS DE 5 AÑOS, ESTABLECIDO EN SUELO AGRÍCOLA Y BAJO RIEGO EN CATALUÑA, ESPAÑA

Experiencias en Túnez indican un éxito del 22% en el prendimiento de injertos de piñonero sobre la misma especie y de 27% sobre *Pinus halepensis*, valores que subieron a 43% el segundo año de experimentación y que pueden mejorarse utilizando patrones de mejor calidad y con mayor control de las condiciones en vivero (Ammari *et al.*, 2011).

En Constitución, Chile, se injertó una plantación de *Pinus radiata* de 3 años de edad obteniéndose un éxito de 32,4% (Loewe y Delard, 2012b).

Adicionalmente, se han realizado varias experiencias en vivero en Chile con el injerto de sustitución de púa apical, con prendimientos cercanos al 35%, que ha aumentado a un 75% a 100% con el método de injerto lateral antes mencionado, lo que facilita la producción de material de calidad para establecer huertos frutales de la especie.

5.- ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES

Claudia Delard R. y Verónica Loewe M.

5.1.- PREPARACIÓN DEL SUELO

La preparación del suelo es una labor que depende de las condiciones locales del sitio donde se va a establecer la plantación, principalmente tipo de suelo y pendiente. Por tales motivos, se entregan algunas recomendaciones de carácter general.

Si el terreno se encuentra cubierto de material leñoso, previo a la preparación de suelo se debe hacer un desbroce manual y apilar el material en hileras intercaladas a las hileras de plantación, con el objetivo de no entorpecer la faena de plantación. Si es posible, se recomienda astillarlos e incorporarlos al suelo para mejorarlo (Costa y Evaristo, 2008), técnica muy superior a la quema de los mismos, que debe evitarse.

Una vez limpio el terreno, se inicia la preparación del suelo, la cual se debe realizar cuando presenta algún grado de humedad, usualmente después de la primera lluvia.

En el caso que la pendiente permita el uso de maquinaria pesada y que el suelo sea arcilloso y/o presente cierto grado de compactación, es recomendable el subsolado a unos 50 a 70 cm de profundidad (Figura N° 34) para mejorar el drenaje y permitir el desarrollo de las raíces. En terrenos en pendiente se deben establecer curvas de nivel (Costa y Evaristo, 2008). En suelos arenosos y francos, no se necesita subsolar, bastando arar (cincel o disco) sobre la hilera de plantación.



Figura N° 34
PREPARACIÓN DE SUELO SOBRE LA HILERA DE PLANTACIÓN

En lugares de pendientes pronunciadas o pedregosidad que impidan el uso de maquinaria, es necesario preparar el suelo en forma manual, removiendo casillas de dimensión mínima de 50 x 50 x 50 cm. Con este método se deja una porción de tierra mullida que facilitará la penetración de las raíces durante los primeros años de desarrollo de la planta, además de mejorar las condiciones de infiltración y retención de agua.

5.2.- PLANTACIÓN

La época de plantación es el factor más importante en la supervivencia un año después del establecimiento, incluso más que la preparación del suelo, ya que la supervivencia de las plantas depende de las condiciones climáticas después del establecimiento, principalmente de la existencia de precipitaciones o disponibilidad hídrica que asegure el establecimiento inicial de la planta, y de un periodo vegetativo suficientemente largo previo a la llegada del periodo estival seco (Costa y Evaristo, 2008). La plantación normalmente se hace después de las primeras lluvias de otoño o más avanzada la temporada, en invierno. No se recomienda plantar cuando las temperaturas bajan de 0°C, cuando el terreno está congelado ni en presencia de vientos fuertes.

En terrenos arenosos la planta debe establecerse en el fondo del surco, para proporcionarles un poco más de humedad a las plantas pequeñas, protegiéndolas del viento; en cambio en suelos arcillosos la planta debe instalarse en camellón para evitar su inundación, ya que se trata de terrenos con elevada retención hídrica (Costa y Evaristo, 2008).

El tamaño del hoyo de plantación dependerá del tipo de planta (raíz desnuda o en contenedor), asegurando que las raíces queden bien extendidas o contenidas en el mismo. Debe prestarse atención al nivel de los cuellos de las plantas, que deben quedar a ras del suelo, para evitar un retraso en el crecimiento (Loewe, 2003).

Aun cuando la mortalidad en campo es independiente de la calidad de planta utilizada, los mayores crecimientos se verifican con plantas de mejor calidad (Cañellas *et al.*, 1999).

5.3.- CONTROL DE MALEZAS

Las malezas compiten fuertemente con las nuevas plantas, principalmente por nutrientes y agua, pudiendo llegar incluso a suprimir el crecimiento (Loewe y Delard, 2012a). Se ha demostrado que la presencia de maleza con una cobertura del 12,4%, reduce en forma significativa la altura y el diámetro de las plantas (Herrero y Gutiérrez, 2006), por lo que antes de la plantación se recomienda eliminar la vegetación presente a fin de suprimir la competencia (Costa y Evaristo, 2008), lo que puede realizarse con rana cortadora y desmalezadora o arado de discos, que la incorpora simultáneamente al suelo. En suelos arenosos puede bastar con arar una vez al año, pero en suelos más densos pueden ser necesarias dos o más pasadas (Montoya, 1990).

Es ideal que en los primeros 4 a 5 años de establecida la plantación se mantenga el terreno limpio de malezas, sea por medios mecánicos, manuales o químicos, principalmente en la zona de proyección de la copa e idealmente en una franja de al menos 1 m de ancho para favorecer el

desarrollo de los individuos (Figura N° 35). En el caso de control químico resultan preferibles los productos residuales frente a los de contacto, tomándose las precauciones recomendadas por el fabricante del herbicida específico a utilizar. Para seleccionar el producto debe considerarse el tipo de suelo y el clima, dada la relación que existe entre la eficacia del herbicida, la textura del suelo y las precipitaciones, así como la composición de las malezas presentes.



Figura N° 35
ASPECTO DE UNA NUEVA PLANTACIÓN DE PINO PIÑONERO DESPUÉS
DEL CONTROL QUÍMICO DE MALEZAS LOCALIZADO ALREDEDOR DE LAS PLANTAS

En plantaciones de la especie en zonas mediterráneas semiáridas de los países productores, sin embargo, es raro el uso de herbicidas para controlar malezas, principalmente por falta de investigación, aun cuando se ha demostrado la necesidad de usar estos productos para controlar la vegetación herbácea, a cuya competencia son muy sensibles las plantas en sus primeros años (Cañellas *et al.*, 1999). Es importante tomar la precaución de colocar una protección a las plantas para evitar el contacto con el herbicida, que según su composición, podría incluso ocasionar su muerte.

Las experiencias de control químico realizadas en Chile son positivas, mostrándose como una técnica eficaz y de uso simple si se siguen las indicaciones técnicas específicas.

5.4.- FERTILIZACIÓN

Para una buena definición de la fertilización más adecuada, se recomienda realizar un análisis de suelo (fertilidad completa) antes del establecimiento de la plantación, a fin de determinar el contenido de macro y micronutrientes presentes en el suelo y decidir en base a esta información el aporte de elementos que la planta necesita para su buen desarrollo.



La fertilización en *Pinus pinea* todavía está en etapa experimental en plantaciones o huertos con objetivo de mejorar su productividad, aunque se sabe que esta práctica aumenta la producción de piñas (Loewe, 2016) y la biomasa de raíces, hojas y tronco.

Si bien no existen estándares de fertilización para esta especie, de acuerdo a resultados de numerosos análisis de suelo realizados en sitios donde se ha establecido pino piñonero en Chile, usualmente la fertilización de establecimiento contiene N, P, K como macronutrientes, y Boro y Zinc como micronutrientes, con lo que se ve favorecida la primera fase del desarrollo radicular y arraigamiento de las plantas, y su posterior crecimiento.

La aplicación debe realizarse enterrando el fertilizante unos 5-10 cm de profundidad en dos zanjas a ambos lados de la planta, a unos 20-40 cm de distancia por lado, dependiendo del tamaño de la planta (si son de tamaño reducido, más cerca, y viceversa). En caso de existir pendiente, el fertilizante debe ser aplicado en la parte superior de ella (Figura N° 36).

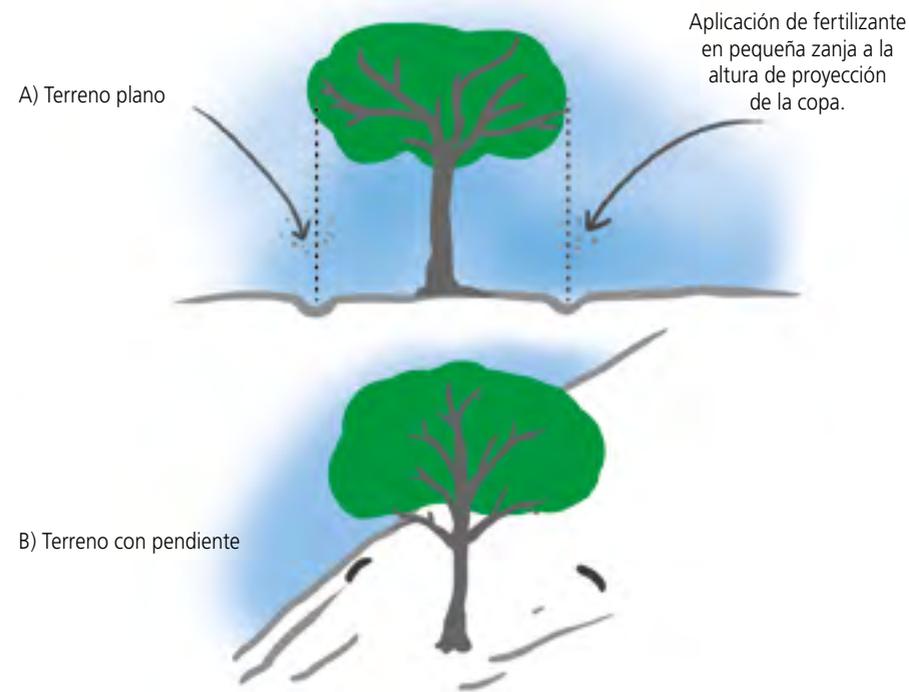


Figura N° 36
ESQUEMA DE LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTE

5.5.- CONTROL DE LAGOMORFOS

La presencia de liebres y conejos en plantaciones nuevas de la especie puede ocasionar pérdidas incluso superiores al 30%, recomendándose por tanto usar algún método de control de estos mamíferos silvestres para reducir sus poblaciones. Se pueden emplear medios mecánicos, como cercos perimetrales con malla enterrada o protecciones individuales, o medios químicos o biológicos, como repelentes artificiales o naturales.

Se ha observado, sin embargo, que la especie tolera mal las protecciones individuales de diferentes materiales, como polipropileno y plástico, por lo que se sugiere hacer un control con otro de los métodos descritos.

6.- MANEJO DE PLANTACIONES Y HUERTOS

Verónica Loewe M. y Claudia Delard R.

En Chile se han realizado numerosos estudios para especializar el manejo de pino piñonero orientado a la producción frutal. Se han obtenido resultados relacionados con el manejo de formaciones adultas y con diferentes prácticas silvícolas, tales como fertilización (Loewe, 2016), poda (Loewe y Delard, 2012a), raleo (Loewe *et al.*, 2011c, 2013), injerto (Loewe *et al.*, 2011a; Loewe y Delard, 2012a), riego (Loewe y Delard, 2014) y manejo agroforestal (Loewe y Delard, 2015a).

Con el conocimiento desarrollado a la fecha es factible diseñar esquemas preliminares de manejo aptos a distintas macrozonas de crecimiento de la especie en el país, combinando información climática, de crecimiento y de producción, los que se irán perfeccionando progresivamente, ya que en la fruticultura moderna, para desarrollar emprendimientos exitosos comercialmente, se debe tender a implementar no la tecnología actual, sino la que se usará en las décadas por venir.

En particular, el riego y la fertilización corresponden a las prácticas de cultivo de mayor impacto en la producción (Lobell *et al.*, 2005), por lo que se recomienda su uso en huertos especializados.

6.1.- FERTILIZACIÓN

La fertilización es una intervención muy importante para ajustar los nutrientes del suelo, promover el crecimiento de los árboles y mejorar su rendimiento y calidad. Una fertilización racional puede mejorar la fertilidad del suelo, incrementando su contenido de nitrógeno y otros nutrientes, e incluso promover el desarrollo de bacterias simbióticas y hongos micorrícicos. Asimismo, al favorecer una rápida expansión de las copas, se reduce el periodo en que es necesario controlar malezas.

La fertilización en el caso del pino piñonero, debe estar orientada en una primera fase a cubrir déficits nutricionales determinados en función al análisis de suelo, seguida de la implementación de un programa nutricional anual orientado a la producción de piñas, a fin de maximizarla, ya que es una especie muy sensible a la disponibilidad tanto de micro como de macro nutrientes, desde la plantación hasta edades avanzadas de desarrollo.

De hecho, la fertilización de una plantación de 16 años ubicada en la región del Maule, aplicando 260 g de fertilizante, dosis definida en función a las carencias nutricionales y aplicada una vez en primavera, tuvo un impacto del 40% en el crecimiento en altura cuatro años más tarde (Loewe, 2016), en concordancia con experiencias similares en Irán (Ravazi *et al.*, 2006). El impacto de esta intervención, aplicada el año 2009, también fue positivo en las siguientes dos cosechas de piña. La cosecha 2012 (que corresponde a la floración del 2009), fue un 92% mayor en las parcelas fertilizadas, efecto que se incrementó en la del 2013 en 2,4 veces.

Loewe y Delard (2015b) reportaron efectos significativos de dosis relativamente elevadas de fertilización (1 kg/árbol/año) aplicada a individuos jóvenes (13 años) en Turquía, con las que casi duplican la producción de piña, y además aumenta el peso de la piña en un 33%, a lo que se sumaría un mayor llenado de la piña (Figura N° 37), efecto no cuantificado en Chile.



Figura N° 37
PIÑAS DE ÁRBOLES FERTILIZADOS (IZQ.) Y NO FERTILIZADOS (DER.)

Resultados obtenidos en una plantación intervenida a los 30 años en la costa de la región de O'Higgins, Chile, muestran un efecto significativo de la fertilización (2.130 g/árbol/año, aplicados en dos dosis, una en primavera y otra en otoño) en la productividad frutal ya un año después de su aplicación, cuando se incrementó en un 82% la cantidad de piñas de 1 año. Este efecto se redujo a un 36% al segundo año de aplicación continuada (Loewe, 2016).

Según Codesido y Merlo (2007, 2009), el aporte de nitrógeno beneficia la inducción floral en *Pinus radiata*, especialmente si se aplica al inicio de la primavera, cuando ocurren las floraciones masculina y femenina. Adicionalmente, se incrementa el vigor de los árboles, lo que se correlaciona con la cantidad de estróbilos (Mutke, 2005b). Los resultados presentados por Loewe (2016) confirman dichas observaciones. Entre los micronutrientes empleados, el boro, considerado como crítico para el crecimiento y producción en plantas vasculares (Zhou *et al.*, 2014) y deficiente en gran parte de los suelos de Chile (Schlatter y Gerding, 1984), es importante por su rol en la fecundación y en los primeros estadios de desarrollo del fruto, evitando abortos tempranos en castaño, nogal y pistacho (Portela *et al.*, 2015). La fertilización también incrementó el crecimiento en altura (>23%), coincidiendo con Ravazi *et al.* (2006). El impacto positivo del aporte de micro y macro nutrientes es coincidente con el reportado en otros pinos como *P. tropicalis* (Ferrer *et al.*, 2004) y *P. elliotti* (Xiao *et al.*, 2015).

Cabe notar que la respuesta a la fertilización es mayor, tanto en crecimiento como en fructificación, en individuos más jóvenes, lo que también ha sido observado en la respuesta a raleos tempranos (Peruzzi *et al.*, 1998; Centre de la Propietat Forestal, 2009), lo que evidencia la conveniencia de manejar las plantaciones desde temprana edad.

6.2.- RIEGO

La disponibilidad hídrica es de gran incidencia, tanto el crecimiento (Mazza *et al.*, 2014) como en la productividad.

6.2.1.- Efecto del Riego en el Crecimiento

En un estudio observacional que evaluó más de 4.000 individuos en diferentes condiciones, se evaluó el efecto del riego (Loewe *et al.*, 2015), encontrándose que este fue positivo tanto para el crecimiento en altura como en diámetro. En particular, incrementó en un 75% el crecimiento en altura en la macrozona Norte, donde las temperaturas y el déficit hídrico son elevados, e incluso un 21% en la macrozona Sur cuando la precipitación anual es inferior a 1.400 mm, así como un 25% en crecimiento diamétrico.

La aplicación de una temporada de riego en una plantación de 31 años no fue significativa en el crecimiento. No obstante, cabe notar que el tamaño de estos árboles fue similar al de individuos de 17 años bajo riego en Argentina (Calderón *et al.*, 2008), lo que constituye un indicador del efecto de una adecuada disponibilidad hídrica sostenida en el crecimiento de la especie.

El uso combinado de fertilización y riego en la misma plantación (Loewe, 2016), mostró ganancias en crecimiento respecto al testigo de 9% en altura, 19% en DAP y 18% en diámetro de copa. Una experiencia en España (Pestaña, 2000) obtuvo resultados similares, pero más elevados (6,5 veces mayor crecimiento en diámetro).

En términos de gestión, Xiao *et al.* (2015) determinaron que los beneficios de la fertilización superan los costos, siendo más accesibles que los de fertilización y riego combinados, al menos para propietarios de la tierra con acceso limitado a capital.

6.2.2.- Efecto del Riego en la Fructificación

El riego, además de tener un efecto en el crecimiento, tiene también un impacto positivo en la producción de piñas, que se explica parcialmente por un aumento de la materia seca (Nilsson y Wiklund, 1992), por la formación de nuevas acículas así como por una reducción del recambio de las existentes.

En España se estableció un ensayo para estudiar el efecto de esta práctica en la inducción y producción de piña en un huerto injertado (Bono y Aleta, 2011; Aleta y Vilanova, 2014), y a los seis años se observó un incremento cercano al 20% en la cantidad de piñas de 2 y 3 años (IRTA, 2014) sumado a un mayor peso de las piñas (Bono y Aleta, 2011).

Un estudio realizado en Chile (Loewe y Delard, 2014) mostró resultados coincidentes, señalando que el riego tiene un efecto significativo, tanto en el crecimiento (85% mayor diámetro de cuello y 48% mayor altura) como en la fructificación (hasta 15 veces mayor producción de piñas por árbol), constituyendo una práctica de manejo relevante en zonas con restricciones hídricas en huertos productivos de piñón mediterráneo (Figura N° 38).



Figura N° 38
PLANTAS DE 3 AÑOS DE EDAD SIN RIEGO (IZQ.) Y REGADAS (DER.)

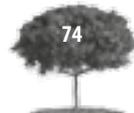
Posteriormente, Loewe *et al.* (2016a) mostraron diferencias de un 35% en productividad de piñas entre plantaciones regadas y no regadas.

Resultados obtenidos en una plantación de 31 años regada solo una temporada muestran un efecto significativo en la fructificación (piñas de 1 año), que fue un 15% mayor en parcelas regadas, lo que coincide con lo señalado por Butler *et al.* (1997), aun cuando es de menor magnitud, probablemente debido al corto periodo de aplicación.

El uso combinado de fertilización y riego en la misma plantación (Loewe, 2016), evidenció un 60% de mayor producción de estróbilos que en parcelas sin manejo.

Cabe señalar que para propietarios de la tierra con acceso limitado a capital, existen nuevos métodos de riego que no requieren acceso a electricidad ni abastecimiento hídrico urbano (Omodei, 2015) que pueden ser de gran utilidad en dichos casos.

Los estudios de INFOR muestran que la precipitación anual y el estrés hídrico afectan significativamente la cantidad de piñas, su peso y llenado (cantidad de piñones/piña)(ver punto 3.1.2), información que se propone para determinar esquemas generales de riego, y que se debiera emplear principalmente en huertos con manejo intensivo en zonas que lo requieran (Loewe *et al.*, 2016a). No obstante, hay que tener presente la necesidad de realizar ajustes anualmente, a fin de dar cuenta de la variabilidad climática y del estado de desarrollo del huerto (Loewe, 2016).



6.3.- CONTROL DE MALEZAS

Un efectivo control de malezas es importante en todos los cultivos, por lo que se recomienda también en plantaciones y huertos de pino piñonero, que es sensible a la competencia, por lo que se transforma en una práctica que acelera el crecimiento y facilita las operaciones. Fue ya comentada anteriormente la importancia del control de malezas en el establecimiento de las plantaciones y la conveniencia de prolongar este control de la competencia al menos hasta los 4-5 años, sea por medios mecánicos, manuales o químicos, para favorecer el desarrollo de los individuos.

6.4.- PODA

La poda es una técnica de manejo que se aconseja aplicar desde el establecimiento, inicialmente orientada a la formación del árbol productivo y posteriormente a maximizar y mantener en el tiempo la fructificación.

6.4.1.- Podas de Formación

En Chile se ha evaluado el efecto de podas de formación tempranas para mejorar la arquitectura de los árboles, condicionándola a la producción frutal y a un porte adecuado para la cosecha mecanizada desde temprana edad, a partir de los 10 años (Loewe *et al.*, 2011a; Loewe y Delard, 2012a; González, 2014). Estas intervenciones incluyen dos tipos de poda:

- Poda de Ramas Basales a Temprana Edad: Estimula el crecimiento del eje principal, en concordancia con lo señalado por Trap (1996), Montero *et al.* (1999) y Prada *et al.* (1997). Se recomienda cuando las plantas presentan abundante follaje y elevado vigor, lo cual en Chile ocurre entre los 2 y 6 años, dependiendo de las condiciones del sitio (Figura N° 39).



Figura N° 39
PODA DE PLANTACIÓN DE 4 AÑOS DE EDAD CON ABUNDANTE FOLLAJE Y ELEVADO VIGOR
EL CARMEN, REGIÓN DEL BIO BIO



En Portugal las primeras podas se realizan 5 - 6 años después de la plantación y consisten en podas de levante (eliminación de las ramas del tercio inferior del fuste); posteriormente se repiten a los 10-12 años según el desarrollo de la plantación (Costa y Evaristo, 2008)

La poda de las ramas inferiores estimularía el crecimiento del eje principal y por consiguiente el crecimiento en altura (Montero *et al.*, 1999); Trap (1996) coincide en que la eliminación de las ramas bajas es recomendable y ya en un tratado del siglo XI-XII se indica que las podas de formación que replican la forma de piña, piramidal, favorecen el crecimiento de la planta (Prada *et al.*, 1997).

Lo anterior ha sido observado en varias situaciones de Chile, obteniéndose los resultados más significativos cuando las plantas presentan abundante follaje y elevado vigor.

En particular, un caso de poda suave de las ramas basales presentes en los primeros 15 cm en una plantación de pino piñonero de 5 años ubicada en Cahuil, Región de O'Higgins, tuvo un efecto positivo significativo en el crecimiento en altura, y ligeramente negativo aunque no significativo sobre el crecimiento en diámetro.

Igual efecto ha sido observado en otras situaciones, por lo que es una intervención que se recomienda cuando las plantas presentan numerosas ramas y un crecimiento contenido en altura, ya que lo estimula, siempre que involucre menos del 25% de la altura total.

Si se busca producir piñones y madera en forma combinada, la poda tendrá el objetivo de mejorar su calidad y proteger el árbol de la ocurrencia de incendios (Mc Lain, 2008), para lo que se cortan las ramas que bifurcan o deforman el fuste desde edades tempranas (Borrero, 2004).

Dado que la altura objetivo del árbol es reducida (para facilitar la cosecha de piñas el fuste no debe ser demasiado largo) y que la mejor madera y el mayor volumen se concentran en la base del tronco, carece de sentido realizar estas podas sobre 5-6 m de altura (Borrero, 2004).

- Podas Intensivas de Formación: Consisten en la definición de un ápice, la eliminación de algunas ramas por verticilo (las más gruesas y verticales) y la reducción del vigor de ramas secundarias, junto a una poda de balance estructural (Figura N° 40), que han presentado un efecto neutro o positivo tanto en el crecimiento en altura como en diámetro, y positivo en la inducción de una estructura del árbol apta a la producción frutal.

La respuesta de las plantas incluye un desarrollo vigoroso, cambio en la coloración del follaje, tornándose a un color verde oscuro más intenso, y la rápida aparición de nuevas ramas que ocupan los espacios generados por la poda.

Una experiencia de poda intensiva de formación efectuada en una plantación de 6 años en Cahuil, región de O'Higgins, que consistió en la definición del ápice, la eliminación de al menos una rama por verticilo (la o las más gruesas), la reducción del vigor de las ramas no apicales y una poda de balance estructural, que eliminó más del 50% del follaje tuvo un efecto positivo y significativo para la altura y positivo aunque no significativo para el diámetro a la altura del cuello.



Figura N° 40
PLANTACIÓN DE 4 AÑOS DE EDAD RECIÉN INTERVENIDA CON PODA DE FORMACIÓN
EL CARMEN, REGIÓN DEL BIO BIO

No obstante lo anterior, la respuesta del diferente material genético de la plantación no fue homogénea, sugiriendo la existencia de algún control genético sobre la tolerancia y capacidad de respuesta ante intervenciones de manejo, como se verifica en otras especies (Zobel *et al.*, 1988).

Los resultados obtenidos coinciden con cuanto señalado por Kirdar *et al.* (2010), quienes indican que el efecto de podas tempranas a los 5 años, evaluadas 13 años más tarde, es positivo en el crecimiento de la especie, presentando los árboles podados un 26,5% mayor altura y 50% mayor diámetro respecto a los no podados.

Los resultados obtenidos en Chile difieren de Montero *et al.* (1999), quienes indican que la poda excesiva disminuye el crecimiento en diámetro y altura en bosques jóvenes de la especie, diferencias que podrían deberse al mayor vigor que presenta la especie en Chile, fenómeno que por otra parte ha sido constatado en otras especies y que sugiere la conveniencia de adaptar y desarrollar nuevas técnicas locales de manejo.

Las podas de ramas basales y de formación pueden combinarse si los árboles presentan abundante follaje y elevado vigor, con respuesta rápida y positiva.



6.4.2.- Podas de Producción

Una de las funciones importantes de las podas en pino piñonero es aumentar la producción favoreciendo copas globosas abiertas (Jovellar y Ortuño, 1997; Peruzzi *et al.*, 1998). Se ha demostrado que por efecto de las podas la producción de piñas aumenta alrededor de 33% (Montoya, 1990), aunque el Centre de la Propietat Forestal (2009a) indica que éstas, si bien facilitan la cosecha, no garantizan una mayor producción de piñas.

Cuevas *et al.* (2005) evaluaron el efecto de podas de fructificación de diferente intensidad, no encontrando correlaciones significativas en ninguno de los tres bosques intervenidos, aun cuando al comparar la producción en zonas podadas y no podadas se observó que ésta fue mayor en las primeras.

Para incrementar la fructificación, CABI (2012) menciona podas que consideran un raleo de la copa y el despunte de ramas. El momento de inicio de este tipo de poda depende más de la calidad del sitio y la densidad de plantación que de la edad de los árboles; una vez iniciadas, pueden repetirse cada 5 - 10 años, siendo más frecuentes al inicio de la rotación (Montoya, 1990).

La olivación, como se denomina a la poda de levante, se realiza hasta conseguir fustes limpios de 5 - 6 m; posteriormente, una vez que se ha formado la copa, se hacen podas de mantenimiento orientadas a facilitar el movimiento del cosechador y a eliminar ramas internas y bajas que no producen flores (Anónimo, s/f).

Las podas de fructificación se usan en Europa en la etapa de latizal (10 - 20 cm de DAP) y fustal joven (20 - 35 cm DAP), podando los verticilos inferiores y aclarando la zona intermedia, eliminando las ramas que no alcanzan el perímetro de la copa, reduciendo la superficie foliar en beneficio de las ramas mejor iluminadas así como las de la parte superior de la copa, que son las que producen la mayor cantidad de flores femeninas, por lo que aumenta la producción de piñas. Debe intentarse que las copas queden a la menor altura posible para facilitar la recolección de piñas (Montoya, 1990; Castaño *et al.*, 2004). Según Yagüe (1993), debe realizarse una poda de formación entre los 20 y 40 años, necesaria para favorecer el desarrollo de ramas periféricas, que son las fructíferas.

Las podas deben realizarse en período de receso vegetativo, dejando una copa viva de al menos un tercio de la altura total del árbol. En el norte de Italia esta faena se ha dejado de hacer por su elevado costo y porque en parte se sustituye con la vibración de la cosecha mecanizada, que hace caer parte del material seco presente en la copa (Loewe y González, 2012).

En Chile también se han podado ejemplares jóvenes, de 15 - 25 años, con muy buena respuesta si se respetan los criterios básicos de extracción de follaje (no superior al 60%) y se conserva el anillo cicatricial que se encuentra en la base de las ramas (Shigo, 1991), lo que resulta fácil por encontrarse apegado al fuste, de modo que si se hacen cortes rectos y limpios, con instrumental limpio y afilado, se produce un rápido cierre de los mismos. La abundante resinación de la especie produce un rápido sellado de los cortes (Figura N° 41), quedando protegidos de ataques de hongos y otros agentes.



Figura N° 41
RESINACIÓN INMEDIATAMENTE DESPUÉS DE UNA PODA (IZQ.), QUE PERMITE UN SELLADO RÁPIDO Y MUY EFECTIVO, CONSTITUYENDO UNA BARRERA DE PROTECCIÓN FUNCIONAL INCLUSO EN EL CASO DE CORTE DE RAMAS GRUESAS (DER.)

6.4.3.- Podas Radiculares

La densidad de plantación en huertos orientados a la producción frutal se prevé que aumente, a diferencia de lo indicado por Mutke (2011a), tal como ha sucedido con las especies frutales tradicionales. Esto se puede lograr mediante la intensificación del manejo, que incluye podas radiculares, además de las prácticas mencionadas y ante la imposibilidad de ejercer una modelación arquitectónica productiva relevante a nivel de la copa (Mutke *et al.*, 2007c). Estas podas radiculares no se han empleado en la especie a nivel productivo, a pesar de conocerse que la estructura del sistema radical está determinada por una programación intrínseca del desarrollo junto a estímulos externos, bióticos y abióticos, y que gran parte de dicha estimulación está mediada por la relación de las componentes aérea/radicular, definida por la auto regulación sistémica dependiente de la plasticidad natural de fustes y raíces (Zucconi, 1996).

Esta técnica se usa con diferentes objetivos (Neri *et al.*, 1992, 2010), tales como formar un sistema radicular que estimule un mayor crecimiento de la copa y anclaje del árbol (Zucconi y Sabbatini, 2003), y para inducir un equilibrio de crecimiento y funcionalidad aéreo-radicular, dado que aumenta la relación aéreo/radicular que prepara a la planta para la reproducción (Zucconi, 2003).

Se ha reportado que la poda radicular también puede mejorar la calidad del fruto (Schwallier, 2011; Yang *et al.*, 2012) e incluso reducir el añerismo (Ferree, 1992), siendo una técnica probada y en uso en especies frutales como manzano y peral (Ferree, 1992; Wang *et al.*, 2014) y en huertos de todas las especies establecidas a alta densidad; conocidos como High Density Planting (HDP), para anticipar la producción y reducir el vigor (Neri, 2014).



Varios estudios (Atzmon y Van Staden, 1993; Atzmon *et al.*, 1994; Bonnet-Masimbert y Webber, 1995; Daoust *et al.*, 1995; Smith y Greenwood, 1995, 1997) han reportado su uso para inducir floración en las coníferas *Pinus pinea*, *Picea mariana* y *Picea glauca*.

En Chile se han realizado experiencias con esta técnica en pino piñonero (Álvarez y Loewe, 2015, trabajo no publicado), considerándose preliminarmente que permitirá incrementar en forma significativa la producción de piña a la vez que reducirá el crecimiento de las plantas, conteniendo su vigor. Estudios respecto de la modalidad e intensidad de estas podas deben realizarse a fin de afinar la técnica.

6.5.- RALEOS

6.5.1.- Raleos para Favorecer el Desarrollo de los Árboles

El raleo garantiza un mayor flujo de agua bajo el dosel, particularmente en los meses más secos, y mejora las tasas de crecimiento, considerándose una medida de mitigación ante los efectos del cambio climático (Mazza *et al.*, 2011), y a la vez incrementa en forma significativa, tanto el crecimiento como la producción (hasta 4 veces superior), en plantaciones tradicionales y en huertos injertados (Mutke *et al.*, 2012).

En cuanto al desarrollo del pino piñonero en Chile, ya se ha indicado que se observan crecimientos superiores a los registrados en gran parte del hábitat nativo de la especie (Loewe *et al.*, 2015). En Cataluña, España, en los primeros 15 - 20 años el crecimiento medio diamétrico se sitúa por sobre 1 cm/año, para luego reducirse rápidamente, y a partir de los 40 años se estanca bajo 0,2 - 0,3 cm/año, por lo que Piqué (2004) destaca la importancia de realizar raleos precoces, antes de los 20 años, cuando la especie tiene mayor capacidad de respuesta.

No existe una norma rígida para realizar los raleos, sino que cada rodal debe ser estudiado para optimizar el resultado económico, dejando siempre los mejores árboles, aquellos dominantes y de amplia copa, y de mayor producción de fruto, que pueden reconocerse por la cantidad de piñas viejas presentes en el suelo (Mc Lain, 2008). No debe extraerse más de un tercio del área basal presente, que corresponde aproximadamente a la mitad de los árboles, lo que no es válido para rodales jóvenes, donde los raleos pueden ser más intensos (Montoya, 1990).

La edad inicial para ralear depende de la densidad de plantación, la calidad del sitio, los cuidados culturales y el objetivo del manejo. Existen reportes de numerosas experiencias, muchas de las cuales apuntan a raleos frecuentes y progresivos, iniciados a edades tempranas.

Si el objetivo es la producción de fruto, debería ralearse cada vez que las copas de los árboles se toquen. El último raleo, ejecutado a los 20 - 25 años debe seleccionar los árboles con mayor potencial productivo (copas más abiertas, follaje poco denso y ramas con inserción casi horizontal, que aprovechan mejor la luz), eliminando aquellos menos productivos; la densidad final en este caso será de 100 - 120 árboles/ha (Costa y Evaristo, 2008).

Peruzzi *et al.* (1998) recomiendan raleos tempranos a partir de los 8 - 10 años, y frecuentes, cada 4 - 5 años. Gordo (2010) también propone reducir tempranamente las densidades de forma intensa, antes de los 15 años.

El manejo debe considerar raleos moderados a fuertes desde edades tempranas, dejando los mejores ejemplares; se recomiendan raleos cada 10 - 15 años, concentrados en la primera mitad de la rotación (Centre de la Propietat Forestal, 2009b).

Del Rio *et al.* (2011) reportan respuestas positivas al raleo en diámetro, altura y superficie de copa en una plantación de 10 años, sugiriendo que el raleo temprano de individuos suprimidos es clave para evitar los efectos de la sequía y la reducción de la productividad, estimulando la producción de piñas, ya que el desarrollo de la copa favorece la floración femenina.

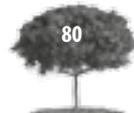
Para producir piñas, Carvalho (1988) cit. por Montero y Candela (1998) proponen ralear a los 20, 40, 60 y 80 años, bajando a 1.200, 500, 250 y 200, e incluso hasta 125-150 árboles/ha, mientras que Montoya (1990) propone realizar el primer raleo a los 15 - 18 años de edad, dejando 400 - 625 árboles/ha, siendo habitual podar en esta oportunidad. Yagüe (1993) por su parte recomienda ralear a los 20 años, disminuyendo la densidad a 250 - 275 árboles/ha, y dejando la densidad definitiva de 125 - 140 árboles/ha a los 40 años.

Para favorecer la producción de piña, los raleos deben ser precoces, fuertes y progresivos en el tiempo. A mayor importancia de la producción de piñas, más precoces deben ser los raleos, ya que las plantaciones raleadas tardíamente demoran más en desarrollar una copa suficiente para sostener una buena producción.

Jovellar y Ortuño (1997) presentan un esquema de manejo a partir de 1.000 árboles/ha, con raleos a los 15 - 20, 30 - 40 y 50 - 70 años que reducen a 400; 200 y 100 árboles/ha.

Leclercq (2002) indica que los raleos deben empezar antes de que los individuos entren en competencia, logrando árboles de menor altura, mayor diámetro y mayor resistencia al viento, a la vez que se reduce el riesgo de plagas y enfermedades, ya que al repartir el agua disponible en los individuos remanentes se eleva el vigor del rodal.

En Chile se evaluó el efecto del raleo en dos plantaciones, en Casablanca (Región de Valparaíso) correspondiente a un ensayo de procedencias europeas, y en Toconey (Región del Maule). La primera, establecida en un terreno plano con espaciamiento inicial de 2 x 3 m, se raleó selectivamente a los 15 años, interviniendo el 47,8% de los árboles vivos; la segunda, establecida en ladera norte con pendiente del 20 - 25%, a 5 x 5 m, se raleó a los 16 años interviniendo hileras diagonales intercaladas (raleo geométrico a saltos), llegando a un espaciamiento de 7 x 7 m, extrayendo cerca del 50% de individuos. Se evaluó el efecto del raleo 1 y 2 años más tarde, comprobándose que en ambos casos el raleo aumentó significativamente el área de copa debido al mayor acceso a luz, acelerando la dinámica de crecimiento (Loewe *et al.*, 2011c); las copas tienden estratégicamente a aprovechar el espacio y la luz, adquiriendo una forma redondeada y productiva (Figura N° 42). Si bien todas las procedencias presentaron gran incremento de la superficie de copa, se observó una respuesta diferente, evidenciando nuevamente una interacción entre el genotipo, el sitio y las



prácticas culturales; un año después del raleo, el incremento de la superficie de copa fluctuó entre 23% y 43%. El mismo efecto se observó respecto al crecimiento en DAP y altura.

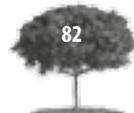
En Toconey, el incremento del área de copa y la altura mostró diferencias significativas en parcelas con diferente exposición (Loewe y Delard, 2012a). La intervención en ambas plantaciones se realizó en el límite del momento óptimo (15 años en Casablanca y 16 en Toconey), obteniéndose una rápida respuesta, aun cuando una intervención más temprana, antes de los 10 años, hubiera sido preferible (Gordo *et al.*, 2009), lo que se ve reforzado por el elevado vigor y crecimiento de la especie en Chile.



Figura N° 42
PLANTACIÓN DE 15 AÑOS DE EDAD CON SUPERPOSICIÓN DE COPAS,
ANTES DEL RALEO (IZQ.) Y 4 AÑOS MÁS TARDE (DER.). CASABLANCA, REGIÓN DE VALPARAÍSO

Cualquiera sea la alternativa de edad e intensidad de raleo, que dependerá también de la densidad inicial de plantación, se recomienda que este sea precoz y progresivo.

La mayor superficie de copa que captura luz aumenta la posibilidad de inducir brotes reproductivos femeninos, incrementando la producción de piñas, tanto en tamaño como en cantidad, concordando con Mutke *et al.* (2007b), quienes reportan incrementos de 20 - 30% del peso de las piñas y una respuesta positiva en la floración en parcelas raleadas y podadas; siete años después del raleo las parcelas raleadas produjeron anualmente 4 a 10 veces más piñas por árbol que las no raleadas.



6.5.2.- Raleos de Fruta

Los raleos de fruta corresponden a la remoción parcial o total de los frutos en desarrollo, y en nuevas plantaciones, particularmente huertos injertados, pueden ser necesarios para evitar que los nuevos árboles se quiebren. Por ello son recomendados al menos durante los primeros 1 a 2 años de fructificación, cuando los árboles no presentan una estructura tal como para soportar el desarrollo de piñas de 3 años, que en Chile pesan casi medio kilo (495 g en promedio). También son útiles cuando los árboles presentan vigor bajo, están dañados, se encuentran en terrenos muy pobres, o presentan una cosecha extremadamente abundante (Lockwood, 1999).

Su ejecución considera el raleo de las piñas de 2 años a fin de favorecer la consolidación de la estructura productiva del árbol que en los años siguientes soportará la producción (Figura N° 43).



Figura N° 43
PLANTA INJERTADA DE 3 AÑOS DE EDAD CON ABUNDANTE CARGA FRUTAL,
QUE REQUIERE RALEO DE FRUTA PARA PERMITIR LA CONSOLIDACIÓN DE SU ARQUITECTURA
QUE SOPORTARÁ LA PRODUCCIÓN DE LOS AÑOS SIGUIENTES





RECONOCIMIENTOS

INFOR y las autoras agradecen el valioso apoyo y colaboración de los asociados del proyecto “Desarrollo de Técnicas de Manejo para Producir Piñones de Pino Piñonero (*Pinus pinea* L.), una Opción Comercial Atractiva para Chile”; la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), mandante de la iniciativa; Daniele Ciavolino e Figli SRL; ASEMAFOR; Agrícola Newin; Ramón Mella Mella y Lucía Araneda. Asimismo, se extienden los agradecimientos a Mariane Lutz y al equipo del Centro de Investigación y Desarrollo de Alimentos Funcionales (CIDAF) de la Universidad de Valparaíso, por su buena disposición para desarrollar un fecundo trabajo conjunto durante el desarrollo del proyecto.

Un reconocimiento especial a Mónica Balzarini, bioestadística de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, cuya colaboración permanente permitió analizar una gran cantidad de datos complejos, obteniendo información valiosa y aplicable al cultivo de la especie; y a los colegas del equipo de trabajo de INFOR, especialmente a Andrea Álvarez, Rodrigo del Río, Marlene González, y a los técnicos Luis Barrales, Aldo Salinas y Andrés Bello.

Finalmente, a tantos interesados en este cultivo, incluyendo agricultores, inversionistas, profesionales y técnicos, cuyas preguntas han estimulado al equipo a seguir trabajando por desarrollar esta opción productiva, que sin duda enriquecerá a Chile y a quienes lo habitan.





REFERENCIAS

Abellanas, B., 1990. Estudios básicos para la mejora genética del Pino piñonero (*Pinus pinea* L.): comportamiento reproductivo. Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingeniero de Montes. España: Universidad Politécnica de Madrid. 249p.

Abellanas, B.; Pardos, J. A., 1989. Seasonal development of female strobilus of Stone pine (*Pinus pinea* L.). *Ann Sci For*;46:51-53.

Abellanas, B.; Butler, I.; Monteagudo, F., 2000. Estudio de la rentabilidad económica de una parcela de injertos de pino piñonero a los nueve años de su instalación. Primer Simposio del Pino piñonero (*Pinus pinea* L.) Valladolid, España;Tomo II:101-110.

Agrimi, M.; Ciancio, O., 1994. Le pin pignon (*Pinus pinea* L.). Monographie. Provisional Proceedings, 16° CFFSA/CEF/CFPO, Meeting Silva Mediterranea, FAO, Larnaca, Chipre. 115p.

Akgül, M.E.; Ylmaz, A., 1991. Ecological characteristics of Stone pine (*Pinus pinea* L.) in Turkey. *Teknik Bülten Serisi, Ormanlık Araştırma Enstitüsü Yayınları*; 215: 56p.

Alasalvar, C.; Shahidi, F., 2008. Tree Nuts: Composition, Phytochemicals, and Health Effects. Nutraceuical Science and Technology Series, CRC Press, Boca Raton.

Alasalvar, C.; Bolling, B.W., 2015. Review of nut phytochemicals, fat-soluble bioactives, antioxidant components and health effects. *Br J Nutr*; 113 (Suppl S2):S68-S78.

Albert, F., 1909. Los 7 árboles forestales más recomendables para el país. Santiago, Chile. 52p.

Aleta, N.; Vilanova, A., 2014. Cone production of stone pine grafted onto Aleppo pine. 5th International Conference on Mediterranean Pines (Medpine5). Solsona, España.

Alía, R.; Agúndez, D.; Alba, N.; González-Martínez, S.; Soto, A., 2003. Variabilidad Genética y Gestión Forestal. *Ecosistemas*; Año XII; N° 3.

Álvarez, A., 2010. Caracterización de frutos de pino piñonero (*Pinus pinea* L.), producidos en localidades establecidas desde la región de Valparaíso hasta la Región de La Araucanía de Chile. Trabajo de investigación para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Iberoamericana de Ciencias y Tecnología, Santiago, Chile. 77p.

Ammari, Y.; Pique, M.; Sghaier, T.; Solano, D.; Aleta, N.; Bono, D.; Hothmani, H.; Albouchi, A.; Garchi, S.; Coello, J.; Coll, L.; Mutke, S., 2011. The Stone pine in Tunisia, history, importance and future prospect. Agropine 2011 International Meeting on Mediterranean Stone pine for Agroforestry. Valladolid, España, 17-19 Noviembre.

Anderson, G.; Moore, R.; Jenkins, P., 1988. The integration of pasture, livestock and widely-spaced pine in South West Western Australia. *Agroforestry Systems*; 6:195-211.





Anónimo, s/f. Explotación del pino piñonero (*Pinus pinea*). Tema 22 Explotación sostenible de especies: recursos forestales.

ANSUB, 2008. Curso de Enxertia do Pinheiro Manso. Herdade do Vale Feitoso, Portugal.

Antonellini, M.; Mollema, P., 2010. Impact of groundwater salinity on vegetation species richness in the coastal pine forest and wetlands of Ravenna, Italy. *Ecological Engineering*; 36(9):1201-1211.

Arthur-Worsop, M., 1984. An economic evaluation of agroforestry: the national viewpoint. En: *Proceedings of a technical workshop on agroforestry*. Ministry of Agriculture and Fisheries, Wellington, New Zealand. 61-70.

Atzmon, N. y Van Staden, J., 1993. Transport and metabolism of Hiso-pentenyladenine following application to the tips of intact and decapitated tap roots of *Pinus pinea*. *Plant Growth Regulation*; vol.13(3):249-255.

Atzmon, N.; Van Staden, J., 1994. The effect of seaweed concentrate on the growth of *Pinus pinea* seedlings. *New Forests*; 8:278-288.

Ávila, A.; Delard, C.; Loewe, V., 2012. Potential zones for Stone pine (*Pinus pinea* L.) in Chile. En *Sustaining Humans and Forests in Changing Landscapes: Forests, Society and Global change*. IUFRO Landscape Ecology Working Party Conference. Concepción, Chile.

Baer, D.J.; Gebauer, S.K.; Novotny, J.A., 2016. Walnuts consumed by healthy adults provide less available energy than predicted by the Atwater factors. *J Nutr*; 146:9-13.

Bagci, E.; Karaagacli, Y., 2004. Fatty acid and tocopherol patterns of Turkish pines. *Acta Biol Cracov Ser Bot*; 46. 95-100.

Bilir, N., 2009. Cone, seed and nut characters in *Pinus pinea*. International Convention Center "Seed orchards and the link to long-term tree breeding in response to climate change". Jeju, Korea: IUFRO.

Bolling, B.W.; Oliver Chen, C-Y.; Mckay, D.L.; Blumberg, J.B., 2011. Tree nut phytochemicals: composition, antioxidant capacity, bioactivity, impact factors. A systematic review of almonds, Brazils, cashews, hazelnuts, macadamias, pecans, pine nuts, pistachios and walnuts. *Nutr Res Rev*; 24:244-75.

Bonnet-Masimbert, M.; Webber, J.E., 1995. From flower induction to seed production in forest tree orchards. *Tree Physiology*; vol.15:419-426.

Bono, D.; Aleta, N., 2011. Cone yield evaluation of *Pinus pinea* L. of a grafted trial. *Agropine 2011 International Meeting on Mediterranean Stone pine for Agroforestry*. Valladolid, España, 17-19 Noviembre.

Borrero, G., 2004. El pino piñonero (*Pinus pinea* L.) en Andalucía: Ecología, Distribución y Selvicultura. *Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía*. Sevilla, España. 261p.

Boutheina, A.; El, Aouni, B.; El, Hedi, M., 2013. Influence of stand structure and silviculture practices on cone and seed production in planted forest of *Pinus pinea* in north of Tunisia. En: *Encuentro Internacional sobre plagas que afectan a la piña de pino piñonero (Pinus pinea)*. Matapozuelos, España.

Bracciotti, S.; Gabellini, A.; Tellini, G.; Gualazzi, S., 2003. Tenuta di San Rossore, note illustrative della carta forestale e della fruizione turistica. Italia: D.R.E.A.M. Italia.

Bravo, A.; Montero, G., 2005. Site index in relation to edaphic variables in Stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in south west Spain. *Ann For Sci*; 62(1):61-72.

Bussotti, F., 1997. Stone pine (*Pinus pinea* L.). *Sherwood*; 3(3)11:31-34.

Butler, I.; Abellanas, B.; Monteagudo, F.; Bastida, F.; López, J., 1997. Primeros resultados de una parcela de ensayo de técnicas de cultivo agronómico de injertos de pino piñonero en la finca experimental "El Cebollar" (Moguer, Huelva). *II Congreso Forestal Español*; Tomo 2 CFE03-016-T3:99-104.

CABI, 2012. *Pinus pinea* (Stone pine) Forestry Compendium. [En línea] Disponible en: <http://www.cabi.org/ffc/?compid=2&dsid=41689&loadmodule=datasheet&page=2147&site=163> [Consulta: 10-8-2012].

Calado, N., 2011. Pine nut market: Portuguese perspective. *Agropine 2011 International Meeting on Mediterranean Stone pine for Agroforestry*. Valladolid, España, 17-19 Noviembre.

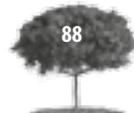
Calama, R.; Sánchez-González, M.; Montero, G., 2007a. Management oriented growth models for multifunctional Mediterranean forests: the case of the Stone pine (*Pinus pinea* L.). *EFI Proceeding 56 Joensuu: European Forest Institute*: 57-69.

Calama, R.; Madrigal, G.; Candela, J.A.; Montero, G., 2007b. Effects of fertilization on the production of an edible forest fruit: Stone pine (*Pinus pinea* L.) nuts in the south-west of Andalusia. *Inv. Agr.: Sist. Rec. For*; 16(3): 241-252. .

Calama, R.; Cañellas, I.; Bachiller, A.; Madrigal, G.; Mutke, S.; Pardos, M.; Gordo, J., 2008. Effects of early silvicultural practices on stone pine (*Pinus pinea* L.) stands. *Scientific Seminar on Adaptation of Forest Landscape to Environmental Changes 18-20/9/2008*. Orvieto, Italia.

Calama, R.; Gordo, J.; Conde, M.; Madrigal, G.; Mutke, S.; Prados, M.; Garriga, E.; Montero, G.; Finat, L.; Martín, R.; Cubero, D., 2014. Pérdidas de rendimiento de piña y piñón en las masas de *Pinus pinea*. *Jornada Presentación Proyecto PROPINEA*. Pedrajas de San Esteban 21 Noviembre 2014. España: s.n.

Calama, R.; Gordo, J.; Conde, M.; Madrigal, G.; Mutke, S.; Prados, M.; Garriga, E.; Montero, G.; Fontes, L., 2015. Rendimiento de piñón en piña de *Pinus pinea* en Portugal: caracterización y comparación con otras regiones. *Seminario UNAC "Avanços no conhecimento na fileira do Pinheiro manso"* Marzo 2015. Alcácer do Sal, Portugal: UNAC.





Calderón, A.; Bustamante, J.; Riu, N.; Pérez, S., 2008. Comportamiento de coníferas bajo riego en Dique Yaucha, Mendoza, Argentina. Revista Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo; 40(1):67-72.

Cañellas, I.; Finat, L.; Bachiller, A.; Montero, G., 1999. Comportamiento de planta de *Pinus pinea* en vivero y campo: ensayo de técnicas de cultivo de planta, fertilización y aplicación de herbicidas. Inv. Agr.: Sist. Rec. For.; 8(2):335-360.

Cárcel, L.M.; Bon, J.; Acuña, L.; Nevares, I.; Del Álamo, M.; Crespo, R., 2012. Moisture dependence on mechanical properties of pine nuts from *Pinus pinea* L. Journal of Food Engineering; vol.110(2):294-297.

Carneiro, A.; D'alpuim, M.; Vacas de Carvalho, M., 2007. Manual Ilustrado de Enxertia do Pinheiro Manso. Estación Florestal Nacional. Ministerio de Agricultura, Portugal. 30p.

Carnevale, J.A., 1955. Árboles forestales, descripción, cultivo y utilización. Buenos Aires, Argentina. 689p.

Carvalho, M.; D'alpuim, M.; Carneiro, M., 2000. Silvicultura do Pinheiro manso (*Pinus pinea* L.). Primer Simposio del Pino Piñonero (*Pinus pinea*), Valladolid, España; Tomo I:169-176.

Casas-Agustench, P.; Bulló, M.; Salas-Salvadó, J., 2010. Nuts, inflammation and insulin resistance. Asia. Pac. J. Clin. Nutr.; 19:124-30.

Cassady, B.A.; Hollis, J.H.; Fulford, A.D.; Considine, R.V.; Mattes, R.D., 2009. Mastication of almonds: Effects of lipid bioaccessibility, appetite, and hormone response. Am. J. Clin. Nutr.; 89:794-800.

Castaño, J.; Estirado, M.; Abellanas, B.; Butler, I.; Cosano, I.; Luengo, J.; Gracia, J.; Candela, J., 2004. Puesta en valor de los recursos forestales Mediterráneos. El injerto de pino piñonero (*Pinus pinea* L.). Manuales de Restauración Forestal No 9. España: Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

Castillo, J.M.; Rubio, C.A.; Luque, C.J.; Luque, T.; Figueroa, M.E., 2002. Comparative field summer stress on three tree species co-occurring in Mediterranean coastal dunes. Photosynthetica; vol.40(1):49-56.

Catalán, G.; Dietl, T.; Enciso, E., 1997. Selección de árboles sobresalientes, en cuanto a la producción de fruto en los pinares de pino piñonero en la región "valles del Tiétar y del Alberche". Parámetros de selección. IRATI 97, II Congreso Forestal Español, Pamplona, Mesa 3: 141-145.

Centre De La Propietat Forestal, 2009a. Silvicultura del pi pinyer per a producció de fusta i pinya. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya. Barcelona, España. [En línea] Disponible en: http://www.gencat.cat/mediamb/publicacions/monografies/FT5_pi_pinyer_produccio_fusta.pdf [Consulta: 30 agosto 2009].

Centre De La Propietat Forestal, 2009b. Silvicultura del pino piñonero, producción de madera y piña.

Codesido, V.; Merlo, E., 2007. Inducción floral mediante aplicación de GA 4/7 y fertilización mineral en el huerto semillero de *Pinus radiata* D. Don de Sergude (Galicia). Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales; vol.16(3):262-266.

Codesido, V.; Merlo, E., 2009. Primeros resultados de inducción floral con aplicación de giberelinas y fertilización en el huerto semillero de *Pinus radiata* D. Don de Sergude. Actas 3º Congreso Forestal Español. Granada, España.

Correia, A.C.; Tomé, M.; Pacheco, C.A.; Faias, S.; Dias, A.C.; Freire, J.; Carvalho, P.O.; Pereira, J.S., 2010. Biomass allometry and carbon factors for a Mediterranean pine (*Pinus pinea* L.) in Portugal. Forest Systems; 19(3):418-433.

Costa, R.; Evaristo, I., 2008. Condução de Povoamentos de Pinheiro Manso e características Nutricionais do pinhao. Projecto Agro 945. Instituto Nacional dos Recursos Biologicos, INRB. Lisboa, Portugal. 48p.

Crawford, M., 1995. Nut pines. Yearbook, West Australian Nut and Tree Crops Association; 19:56-66.

Cuevas, L.; Prades, C.; Martín, R.; Rabasco, J., 2005. Influencia de la poda sobre la producción de piña de *Pinus pinea* L. en la comarca de Villaviciosa de Córdoba. IV Congreso Forestal Español; Tomo I:251.

Cutini, A., 2002. *Pinus pinea*. En: Pines of silvicultural importance. New York: CABI Pub.: 329-342. ISBN 085199539X.

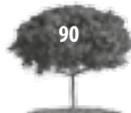
Daoust, G.; Plourde, A.; Beaulieu, J., 1995. Influences of crow size and maturation on flower production and sex expression in *Picea glauca* treated with gibberellin A4/7. Tree Physiology; vol.15:471-475.

De Luis, M.; Novak, K.; Cufear, K.; Raventós, J., 2009. Size mediated climate-growth relationships in *Pinus halepensis* and *Pinus pinea*. Trees; vol.23(5):1065-1073.

Del Rio, M.; Aguirre, M.; Calama, R.; Madrigal, G.; Gordo, J.; Finat, L.; Álvarez, D.; Montero, G.; Mutke, S., 2011. Early thinning for crown expansion and drought stress reduction. Agropine 2011 International Meeting on Mediterranean Stone pine for Agroforestry. Valladolid, España: 24.

Domínguez, J., 2011. Estudio de producción de piñas y sus daños y la chinche del pino *Leptoglossus occidentalis* en Castilla y León. Encuentro Internacional sobre Plagas que afectan a la piña del Pino Piñonero (*Pinus pinea*). Matapozuelos (Valladolid), 30 Noviembre, 2011.

Domínguez, S.; Herrero, N.; Carrasco, I.; Ocaña, B.; Peñuelas, J., 1997. Ensayo de diferentes tipos de contenedores para *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster* y *Pinus pinea*: resultados de vivero. Actas del II Congreso Forestal Español, Mesa 3, Pamplona: 189-194.





Domínguez, S.; Carrasco, I.; Herrero, N.; Ocaña, L.; Nicolas, J.; Peñuelas, J., 2000a. Las características de los contenedores influyen en la supervivencia y crecimiento de las plantas de *Pinus pinea* en campo. Actas del Primer Simposio sobre pino Piñonero, Valladolid, España; Tomo I:203-209.

Domínguez, L.S.; Oliet, P.; Ruiz, P.; Carrasco, M.; Peñuelas, R.J.; Serrada, H.R., 2000b. Influencia de la relación N-P-K en el desarrollo en vivero y en campo de planta de *Pinus pinea*. Actas del Congreso del I Simposio del Pino piñonero. Valladolid, España: 195-202.

Dube, F.; Sotomayor, A.; Loewe, V.; Muller-Using, B.; Stople, N.; Zagal, E.; Doussolin, M., 2016. Silvopastoral systems in temperate zones of Chile. En: A. Peri, P.L.; Dube, F.; Varella (ed.), Silvopastoral Systems in Southern South America. S.I.: Springer International Publishing: 183-211.

El-Khorchani, A.; Gadbin-Henry, C.; Bouzid, S.; Khaldi, A., 2007. The impact on drought of three forest species in Tunisia (*Pinus halepensis*, *Pinus pinea* L., *Pinus pinaster* Sol.). Sécheresse; 18(2):113-121.

Esche, R.; Müller, L.; Engel, Kh., 2013. Online LC-GC-based analysis of minor lipids in various tree nuts and peanuts. Journal of Agricultural and Food Chemistry; vol.61(47):11636–11644.

Estruch, R.; Martínez-González, M.A.; Corella, D.; Salas-Salvadó, J.; Ruíz-Gutiérrez, V.; Covas, M.I.; Fiol, M.; Gómez-Gracia, E.; López-Sabater, M.C.; Vinyoles, E.; Arós, F.; Conde, M.; Lahoz, C.; Lapeira, J.; Sáez, G.; Ros, E., 2006. Effects of a Mediterranean-style diet on cardiovascular risk factors: a randomized trial. Ann. Int. Med.; 145:1–11.

Estruch, R.; Ros, E.; Salas-Salvadó, J.; Covas, M.; Corella, D.; Arós, F.; Gómez-Gracia, E.; Ruíz-Gutiérrez, V.; Fiol, M.; Lapeira, J.; Lamuela-Raventós, Rm.; Serra-Majem, L.; Pintó, X.; Basora, J.; Muñoz, M.; Sorlí, J.; Martínez, J.; Martínez-González, M., 2013. Primary prevention of cardiovascular disease with a Mediterranean diet. N. Eng. J. Med.; 368:1279–90.

Evaristo, P., 2016. Pine nuts: beginning to end process from factory till final consumer. En: Mutke, S.; Correia, A.C.; Vila Verde, C. (ed.), AgroPine2016. 2nd International Meeting on Mediterranean Stone Pine for Agroforestry 2016/05/18-20. Book of Abstracts. Oeiras, Portugal; INIAV:75p.

Evaristo, I.; Batista, D.; Correia, I.; Correia, P.; Costa, R., 2010. Chemical profiling of Portuguese *Pinus pinea* L. nuts. J. Sci. Food. Agric.; 90:1041–9.

Fady, B.; Fineschi, S.; Vendramin, G.G., 2004. EUFORGEN Technical guidelines for genetic conservation and use of Italian Stone pine (*Pinus pinea*). International Plant Genetic Resources Institute, Roma. 6p.

Fallour, D.; Fady, B.; Lefevre, F., 1997. Study on isozyme variation in *Pinus pinea* L. Evidence for low Polymorphism. Silvae Genetica; 46(4):201-207.

FDA - Food and Drug Administration, 2003. Summary of Qualified Health Claims Subject to Enforcement Discretion. [En línea] Disponible en: <http://www.fda.gov/Food/LabelingNutrition/LabelClaims/QualifiedHealthClaims/ucm073992.htm#nuts> [Consulta: 20-06-2012].

Feinbrun, N., 1959. Spontaneous Pineta in the Lebanon. Bull. Res. Council. of Israel; 7D:132-151.

Fernández, J.A., 2013. Desarrollo sostenible y silvoagricultura. Forestalis; N°21:14-18. [En línea] Disponible en: <http://www.fafcycle.es/wp-content/uploads/2012/10/revista-n%c2%ba21.pdf> [Consulta: 14-11-2016]

Ferree, D.C., 1992. Time of root pruning influences vegetative growth, fruit size, biennial bearing, and yield of Jonathan'Apple. Journal of the American Society for Horticultural Science; vol.117(2):198-202.

Ferrer, A.; Herrero, G.; Milián, C.; Aguirre, B., 2004. Carencias nutrimentales en coníferas cubanas. I. *Pinus tropicalis* Morelet. Revista Forestal Baracoa; vol.23(1):23–28.

Fontes, L.; Tomé, M.; Almeida, H., 2013. Investigação em pinheiro manso, contexto actual e reflexes para o futuro. Seminar "Valorização da Fileira da Pinha/Pinhão" 18/9/2013. Alcácer do Sal, Portugal.

Franco, K.; Kallen, S.; Gandía, M.; Sonneveld, R.; Alonso, P., 2016. Implementation of agroforestry practices for the recovery of degraded soils in semi-arid areas of southern Europe: case study of life operation CO2 project, Ayoó de Vidriales (Spain). Proceedings 3rd European Agroforestry Conference 23-25 Mayo, Montpellier, France: 237-240.

Galli, M.; Guadalupi, M.; Nanni, T.; Ruggiero, L.; Zuanni, F., 1992. Ravenna pine trees as monitors of winter severity in N-E Italy. Theoretical and Applied Climatology; vol.45(3):217-224.

Gandullo, J.M.; Sánchez-Palomares, O., 1994. Estaciones ecológicas de los pinares españoles. Dirección General para la Conservación de la Naturaleza. Madrid. 184p.

García de Pedraza, L.; Pallares, Q., 1989. El clima y los árboles forestales. Hojas Divulgadoras, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación; N°8:28p.

García-Fayos, P.; Gulias, J.; Martínez, J.; Marzo, A.; Melero, J.P.; Traveset, A.; Veintimilla, P.; Verdú, M.; Cerdán, V.; Gasque, M.; Medrano, H., 2001. Bases ecológicas para la recolección, almacenamiento y germinación de semillas de especies de uso forestal de la Comunidad Valenciana. Editado por Banc de Llavors Forestals (Conselleria de Medi Ambient, Generalitat Valenciana). [En línea] Disponible en: http://www.cma.gva.es/areas/estado/bosques/bosq/banco_semillas/llavors.pdf [Consulta: 10-10-2011].

García-Lorda, P.; Megias, Rangil, I.; Salas-Salvadó, J., 2003. Nut consumption, body weight and insulin resistance. Eur. J. Clin. Nutr.; 57(Suppl 1):S8–11.

Garland, K.R.; Fisher, W.W.; Greig, P.J., 1984. Agroforestry in Victoria. Technical Report Series (Victoria. Dept. of Agriculture); N° 93:114p.

Geisler, M., 2008. Agricultural Marketing Resource Center. Pine nuts profile. [En línea] Disponible en: http://www.agmrc.org/commodities__products/nuts/pine_nuts_profile.cfm [Consulta: 18-04-2009].





Gil, L.; Pérez, B.; Palomar, J., 1986. El injerto en los pinos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Hojas Divulgadoras; N°20:24p.

Gil, L.; Abellanas, B., 1989. La mejora genética del pino piñonero. Montes; 21:4-12.

Gil, L.; Prada, M.A., 1993. Los pinos como especies básicas de la restauración forestal en el medio Mediterráneo. ICONA, Madrid. Ecología; 7:113-125.

Gilman, E.F.; Watson, D.G., 1994. *Pinus pinea*, Stone Pine. Fact Sheet ST-472. Environmental Horticulture Department, University of Florida: 3p.

Gómez, A.; Aguiriano, E.; Alía, R.; Bueno, M.A., 2002. Análisis de los recursos genéticos de *Pinus pinea* L. en España mediante microsatélites del cloroplasto. Inv. Agr.: Sist. Rec. For.; 11(1):145-154.

Gonçalves, A.C.; Pommerening, A., 2012. Spatial dynamics of cone production in Mediterranean climates: a case study of *Pinus pinea* L. in Portugal. Forest Ecology and Management; vol.266:83-93.

Gonçalves, A.C.; Dias, A.B.; Afonso, A.; Pereira, D.G.; Pinheiro, A.; Peça, J.O., 2016. Mechanical versus manual harvest of *Pinus pinea* cones. Biosystems Engineering; vol.143:50-60.

González, G.M., 2012. Principales plagas que afectan los frutos de pino piñonero (*Pinus pinea* L.). Informativo Sanitario N° 6, INFOR-CORFO: 12p.

González, G.M., 2014. Cosecha de Pino Piñonero (*Pinus pinea* L.). Antecedentes generales y experiencia en Chile. Ciencia e Investigación Forestal; vol.20 (1):51-68.

Goor, A., 1964. Métodos de plantación forestal en zonas áridas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, FAO. Cuadernos de Fomento Forestal; N°16:256p.

Goor, A.; Barney, C., 1976. Forest tree planting in arid zones. 2nd Ed., The Ronald Press Company, New York, EE.UU: 504p.

Gordo, A.J., 1999. Ordenación y selvicultura de *Pinus pinea* L. en la provincia de Valladolid. Ciencias y Técnicas Forestales: 79-100. .

Gordo, A.J., 2010. Recomendaciones para el primer clareo en masas artificiales de *Pinus pinea* L. en la Meseta Norte. Revista Castilla y León Forestalis: 26-27.

Gordo, J.; Mutke, S.; Prada, A.; Gil, L., 1999. El Pino Piñonero (*Pinus pinea* L.). En: S. Alía, R.; Galea, R.; Martín (Ed.), Mejora Genética y Masas Productoras de Semilla de los Pinares Españoles. Monografías Inia Forestal No 1. Madrid, España: Cifor Inia-Dgcona, Pp. 223-239. Isbn 8474984718.

Gordo, A.J.; Mutke, S.; Gil, L., 2005. Consecuencias del cambio climático en la producción de piña en los pinares continentales de *Pinus pinea* L. Actas del IV Congreso Forestal Español: 127. [En línea] Disponible en: <http://www.secforestales.org/buscador/pdf/4CFE05-029.pdf> [Consulta: 8-9-2011].

Gordo, A.J.; Mutke, S.; Gil, L., 2007. Ausencia de diferenciación ecotípica entre rodales selectos de pino piñonero en la cuenca del Duero. Inv. Agr.: Sist. Rec. For.; 16(3):253-261.

Gordo, A.J.; Álvarez, D.; Mutke, S.; Gil, L., 2009. Selección y usos de materiales de base en el Pino piñonero. V Congreso Forestal Español. SECF, Junta de Castilla y León, España: 2-7.

Gordo, A.J.; Mutke, S.; Calama, R.; Gil, L., 2011. El uso del Pino Piñonero (*Pinus pinea* L.) en sistema agroforestales. Jornadas de Cultivos Alternativos con especies forestales. Valladolid, Septiembre 2011.

Grosso, G.; Yang, J.; Marventano, S.; Micek, A.; Galvano, F.; Kales, S., 2015. Nut consumption and all-cause, cardiovascular, and cancer mortality risk: A systematic review and meta-analysis of epidemiologic studies. Am. J. Clin. Nutr.; 101:783-93.

Grundy, M.; Grassby, T.; Mandalari, G.; Waldron, K.; Butterworth, P.J.; Berry, S.; Ellis, P., 2015. Effect of mastication on lipid bioaccessibility of almonds in a randomized human study and its implications for digestion kinetics, metabolizable energy, and postprandial lipemia. Am. J. Clin. Nutr.; 101:25-33.

Gutiérrez, P., 2007. Análisis del sector de la piña y el piñón y sus aprovechamientos en Andalucía. Trabajo Profesional Fin de Carrera, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Universidad de Córdoba, España. 355p. .

Heffron, S.P.; Rockman, C.B.; Gianos, E.; Guo, Y.; Berge, J.S., 2015. Greater frequency of nut consumption is associated with lower prevalence of peripheral arterial disease. Prev. Med.; 72:15-8.

Herrero, B.; Gutiérrez, J., 2006. Influence of weeds on the growth of *Pinus pinea* L. during reforestation in Palencia (Spain). Acta Botanica Croatica: 65(2):117-125.

Ibarrola-Jurado, N.; Bulló, M.; Guasch-Ferré, M.; Ros, E.; Martínez-González, M.A.; Corella, D.; Fiol, M.; Warnberg, J.; Estruch, R.; Román, P.; Arós, F.; Vinyoles, E.; Serra-Majem, L.; Pintó, X.; Covas, M.I.; Basora, J.; Salas-Salvadó, J., 2013. Cross-sectional assessment of nut consumption and obesity, metabolic syndrome and other cardiometabolic risk factors: The PREDIMED Study. PLoS ONE; 8:e57367.

IRTA, 2014. Stone pine visit & meeting. Torre Marimon (Caldes de Montbui). 2014.

Jakovljevic, T.; Gredecki-Postenjack, M.; Radojic, Ir., 2009. Stone pine seeds (*Pinus pinea* L.), forest reproductive material and food. Hrvatski Sumarski Institut; vol.44(1):29-36.





Jenkins, D.J.; Hu, F.B.; Tapsell, L.C.; Josse, A.R.; Kendall, C.W.C., 2008. Possible benefit of nuts in type 2 diabetes. *J. Nut.*; 138:1752–56.

Jenkins, D.J.; Kendall, C.W.C.; Banach, M.; Srichaikul, K.; Vidgen, E.; Mitchell, S.; Parker, T.; Nishi, S.; Bashyam, B.; De, Souza, R.; Ireland, C.; Josse, R.G., 2011. Nuts as a replacement for carbohydrates in the diabetic diet. *Diab Care*; 34:1706–11.

Jovellar, L.L.; Ortuño, P.S., 1997. Consideraciones económicas sobre las masas artificiales de Pino piñonero (*Pinus pinea* L.). *Montes*; 49:16–20.

Khalidi, A.; Ammar, R.B.; Suyoung, W.; Akrimi, N.; Zid, E., 2011. Salinity tolerance of hydroponically grown *Pinus pinea* L. seedlings. *Acta Physiologica Plantarum*; 33(3):765–775.

Kirdar, E.; Özel, H.B.; Ertekin, M., 2010. Effects of pruning on height and diameter growth at Stone pine (*Pinus pinea* L.) afforestations. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*; 12(18):1–10.

Kornsteiner, M.; Wagner, K.H.; Elmadfa, I., 2006. Tocopherols and total phenolics in 10 different nut types. *Food Chem.*; 98:381–7.

Kornsteiner, M.; Wagner, K.H.; Elmadfa, I., 2013. Phytosterol content and fatty acid pattern of ten different nut types. *Int. J. Vitam. Nutr. Res*; 83:263–70.

Leclercq, J.M., 2002. Les éclaircies résineuses: des bénéfices multiples. *Forêts de France*; 457:36–37.

Lobell, D.B.; Ortiz-Monasterio, J.I.; Asner, G.P.; Naylor, R.L.; Falcon, W.P., 2005. Combining field surveys, remote sensing and regression trees to understand yield variations in an irrigated wheat landscape. *Agronomy Journal*; vol.97:241–249.

Lockwood, D., 1999. Pruning Raspberries and Blackberries in Home Gardens. Agricultural Extension Service, University of Tennessee. 8p.

Loewe, M.V., 2003. Arboricultura para producción de madera de alto valor. INFOR, Santiago Chile. 56p.

Loewe, M.V., 2015. Oportunidades comerciales para el piñón de pino piñonero (*Pinus pinea* L.) en Chile. [En línea] Disponible en: http://www.odepa.cl/wp-content/files_mf/1435178179PinusPinea.pdf [Consulta: 8 julio 2015].

Loewe, M.V., 2016. Caracterización de la variabilidad, crecimiento y producción del pino piñonero (*Pinus pinea* L.) en Chile en función del clima y de algunas prácticas silviculturales. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba, España. 331p.

Loewe, M.V.; González, G.M., 2011. Informe técnico sobre actividades realizadas en gira técnica sobre el piñón del pino piñonero (*Pinus pinea* L.) a Italia, España y Portugal. INFOR, Santiago, Chile.

Loewe, M.V.; Delard, R.C.; Venegas, G.A., 2011a. Pine nuts (*Pinus pinea* L.) production, an alternative for temperate areas. *APA News Asia-Pacific Agroforestry Newsletter*; vol.39:4–7.

Loewe, M.V.; Venegas, G.A.; Delard, R.C.; González, G.M., 2011b. Thinning effect in two young Stone Pine plantations (*Pinus pinea* L.) in central southern Chile. *AGROPINE2011, International Meeting on Mediterranean Stone Pine for Agroforestry*. Valladolid (España), 17–19 Noviembre 2011.

Loewe, M.V.; González, G.M., 2012. Apuntes Sobre una Gira de Estudio sobre el Piñón del Pino Piñonero (*Pinus pinea*) a Italia, España y Portugal. *Ciencia e Investigación Forestal*; 18(1):77–92.

Loewe, M.V.; Delard, R.C.; Fuentes, V.C.; González, G.M.; Mutke, S., 2012. Instituto Forestal, (Santiago, Chile). Introducción del pino piñonero (*Pinus pinea* L.) en Chile. *Ciencia e Investigación Forestal*; 18(2):39–52.

Loewe, M.V.; Delard, R.C., 2012a. Un Nuevo cultivo para Chile, el pino piñonero (*Pinus pinea* L.). INFOR, Santiago, Chile. 364p.

Loewe, M.V.; Delard, R.C., 2012b. Reconversión productiva de una plantación de pino radiata de bajo desarrollo mediante injerto con pino piñonero para producir piñones. En: Congreso Chileno de PFM “Cortezas y Certezas”, 7 y 8 noviembre.

Loewe, M.V.; Venegas, G.A.; Delard, R.C.; González, G.M., 2013. Thinning effect in two young Stone Pine plantations (*Pinus pinea* L.) in central southern Chile. *Options Méditerranéennes*; vol.105:49–55.

Loewe, M.V.; Delard, R.C., 2014. Effect of irrigation in growth and fruit production in stone pine (*Pinus pinea* L.) in Chile. *International Horticultural Congress (IHC) 17–20 August 2014*. Brisbane, Australia.

Loewe, M.V.; Delard, R.C.; Álvarez, A., 2014. Avances en el cultivo del pino piñonero (*Pinus pinea* L.) para producir piñones en Chile. Santiago, Chile: Boletín de Productos Forestales No Madereros, 21: pp. 3–6.

Loewe, M.V.; Delard, R.C., 2015a. Stone pine (*Pinus pinea* L.), an interesting alternative for agroforestry in Chile. *Small-Scale and Community Forestry and the Changing Nature of Forest Landscapes* 11–15 Octubre 2015. Sunshine Coast, Australia.

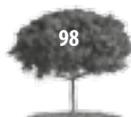
Loewe, M.V.; Delard, R.C., 2015b. Informe gira técnica sobre pino piñonero (*Pinus pinea* L.) a Turquía e Israel. *Ciencia e Investigación Forestal*; vol.21(3):53–92.

Loewe, M.V.; Delard, R.C.; Balzarini, M.; Álvarez, A.; Navarro-Cerrillo, R.M., 2015. Impact of climate and management variables on stone pine (*Pinus pinea* L.) growing in Chile. *Agricultural and Forest Meteorology*; vol.214–215:106–116.





- Loewe, M.V.; Balzarini, M.; Álvarez, A.; Delard, R.C.; Navarro-Cerrillo, R.M., 2016a. Fruit productivity of Stone pine (*Pinus pinea* L.) along a climatic gradient in Chile. *Agricultural and Forest Meteorology*; vol.223:(15), 203-216.
- Loewe, M.V.; Balzarini, M.; Delard, R.C.; Álvarez, A., 2016b. Inter annual and spatial variability of stone pine (*Pinus pinea* L.) fruit morphometry impacting kernel yield. *Publicación en curso*.
- Lojka, L.; Martiník, A., 2014. Agroforestry in Czech Republic: history, present state and perspectives. In 2nd European Agroforestry Conference.1. vyd. June 2014: European Agroforestry Federation. 217-219.
- Lutz, M.; Luna, L., 2016. Nuts and body weight: an overview. *J. Nutr. Health. Sci.*; 3:105.
- Lutz, M.; Alvarez, K.; Loewe, V., 2016. Chemical composition of pine nut (*Pinus pinea* L.) grown in three geographical macrozones in Chile. *CYTA – J. Food.*, doi: 10.1080/19476337.2016.1250109.
- Macinnis-N.G., C.; Veale, A.; Schwendenmann, L.; Clearwater, M., 2016. Sap flow of the southern conifer *Agathis australis* during wet and dry summers. *Trees*; vol.30(1):9-33.
- Maljaars, J.; Romeyn, E.A.; Haddeman, E.; Peters, H.P.F.; Masclee, A.A.M., 2009. Effect of fat saturation on satiety, hormone release, and food intake. *Am. J. Clin. Nutr.*; 89:1019–24.
- Mancilla-Leyton, J.; Pino, M.; Martín, V., 2013. Do goats preserve the forest? Evaluating the effects of grazing goats on combustible Mediterranean scrub. *Applied Vegetation Science*; 16:63-73.
- Martín, S.; González, S.C., 2000. Conservación de recursos genéticos de coníferas en España. *Inv. Agr.: Sist. Rec. For.*; 2:152-183.
- Martínez, M.E.; Alejano, M.M.; Villalón, T.D., 2003. Los pinares de pino piñonero en el sur peninsular, papel en la dinámica natural en base a la arqueología prehistórica y protohistórica. Nuevas interpretaciones. *Actas de la II Reunión sobre Historia Forestal. Cuad. Soc. Esp. Cs. For.*; 16:121-126.
- Mattes, R.D.; Dreher, M.L., 2010. Nuts and healthy body weight maintenance mechanisms. *Asia. Pac. J. Clin. Nutr.*; 19:137–41.
- May, J., 1984. *Southern Pine Nursery Handbook*. USDA-Forest Service, Atlanta, Georgia. USA, 1984. [En línea] Disponible en: <http://www.ngr.net/publications/spnh/> [Consulta: 09-08-2012].
- Mazza, G.; Amorini, E.; Cutini, A.; Manetti, M.C., 2011. The influence of thinning on rainfall interception by *Pinus pinea* L. in Mediterranean coastal stands (Castel Fusano-Rome). *Annals of Forest Science*; vol.68(8)323-1332.
- Mazza, G.; Cutini, A.; Manetti, M.C., 2013. Growth rate and climate responses of *Pinus pinea* L. in Italian coastal stands over the last century. *Climatic Change*; vol.121(4):713-725.
- Mazza, G.; Amorini, E.; Cutini, A.; Manetti, M.C., 2014. Site-specific growth responses to climate drivers of *Pinus pinea* L. tree rings in Italian coastal stands. *Annals of Forest Science*; vol.71(8):927-936.
- Mc Lain, R., 2008. Management guidelines for expanding Pinyon nut production in Colorado's Pinyon-Juniper woodlands. Institute for Culture and Ecology. 10p. [En línea] Disponible en: http://www.ifcae.org/publications/downloads/PJE_Mgmt_Guidelines_03-18-08.pdf [Consulta: 09-08-2011].
- Molina, M.P., 1991. El pino piñonero. Un pino para el secano costero e interior. *Renarres*; 8(32):8-11.
- Molina, J.R.; Rodríguez, F.; Herrera, M.A., 2011. Potential crown fire behaviour in *Pinus pinea* stands following different fuel treatments. *Forest Systems*; 20(2):266-277.
- Montero, G.; Candela, J., 1998. Manual de claras para repoblaciones de *Pinus pinea* L. Ed. por EGMASA y Junta de Andalucía. 47p.
- Montero, G.; Candela, J.A.; Pavón, J.; Gutiérrez, M., 1999. Primeros resultados de una experiencia de podas en plantaciones de *Pinus pinea* L. *Montes*; 55:52-56.
- Montero, G.; Calama, R.; Ruiz-Peinado, R., 2008. Selvicoltura de *Pinus pinea* L. En: J. Montero, G.; Serrada, R.; Reque (Ed.), *Compendio de selvicoltura de especies*. Madrid, España: INIA-Fundación Conde del Valle de Salazar. 431-470.
- Montoya, J.M., 1990. El pino piñonero. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España. 98p.
- Montoya, J.M.; Cámara, M., 1996. La planta y el vivero forestal. Madrid, España. 127p.
- Montoya, J.M.; Mesón, M., 2004. Selvicoltura. Tomo I. Madrid, España: Fundación Conde del Valle Salazar, Mundi-Prensa.
- Morcillo, M.; Sánchez, M.; Vilanova, X., 2015. *Cultivar Trufas, una realidad en expansión*. Barcelona, España. ISBN 978-84-617-3654-6.
- Mutke, S., 2004. Modelización estructural de árboles. Curso de Doctorado Evaluación y Modelización Forestal. E.T.S.II.AA. Palencia, U. de Valladolid.
- Mutke, S., 2005a. Impact of reproductive effort on shoot growth and crown development in a zoochorous pine. Presentación al Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España.
- Mutke, S., 2005b. Modelización de la arquitectura de copa y de la producción de piñón en plantaciones clonales de *Pinus pinea* L. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid, España. 66p.
- Mutke, S., 2009. Informe Estadía en Chile, 4-17 Octubre 2009, en el marco del proyecto "El piñón comestible del Pino piñonero (*P. pinea*): un negocio atractivo para Chile". 41p.





Mutke, S., 2011. Buscando nuevos futuros para las tierras agrarias: Análisis de las experiencias realizadas con pinares injertados. Jornadas sobre pinar, pino, piña y piñón Piñonero. 3-4/11/2011. Córdoba, España.

Mutke, S.; Gordo, J.; Gil, L., 2000. The Stone pine (*Pinus pinea* L.) breeding programme in Castile-Leon (Central Spain). Nucis Newsletter.

Mutke, S.; Gordo, J.; Gil, L., 2005a. Variability of Mediterranean Stone pine cone production: yield loss as response to climate change. Agricultural and Forest Meteorology; 132:263-272.

Mutke, S.; Gordo, J.; Gil, L., 2005b. Cone yield characterization of a Stone pine (*Pinus pinea* L.) clone bank. Silvae Genetica; 54:197-189 .

Mutke, S.; Gordo, J.; Gil, L., 2006. Pérdida de producción de piña en los pinares de piñonero como consecuencia del cambio climático. Foresta; 32:34-38.

Mutke, S.; Roig, G.S., 2007. Ejemplos de Recursos Forestales No Maderables mediterráneos: piñón, corcho y resina. I Curso Internacional sobre Gestión Forestal Sostenible 14/02/2007. Madrid, España: CIFOR-INIA.

Mutke, S.; Calama, R.; Gordo, J.; Alvarez, D.; Gil, L., 2007a. Stone pine orchards for nuts production: which, where, how? Nucis Newsletter; vol.14:22-25.

Mutke, S.; Calama, R.; Gordo, J.; Gil, L., 2007b. El uso del pino piñonero como especie de frutal en sistemas agroforestales de secano. Actas de la III reunión sobre Sistemas Agroforestales. Cuad. Soc. Esp. Cs. For.; 22:137-142.

Mutke, S.; Calama, R.; González-Martínez, S.; Montero, G.; Gordo, J.; Bono, D.; Gil, L., 2012. Mediterranean Stone Pine: Botany and Horticulture. En: J. Janick (ed.), Horticultural Reviews 39. S.l.: Wiley-Blackwell: 153-201.

Mutke, S.; Martínez, J.; Gordo, J.; Nicolas, J.L.; Herrero, N.; Pastor, A.; Calama, R., 2014. Severe seed yield loss in Mediterranean Stone pine cones. 5th International Conference on Mediterranean Pines (Medpine5) 22-26 September 2014. Solsona, Spain.

Mutke, S.; Roque, A.; Calama, R., 2016. Impact of the dry cone syndrome on kernel yield from Stone pine cones. En: Mutke S Correia AC, Vila Verde C. (ed.), AgroPine2016. 2nd International Meeting on Mediterranean Stone Pine for Agroforestry 2016/05/18-20. Book of Abstracts. Oeiras, Portugal; INIAV: 75p.

Nasri, N.; Khaldi, A.; Fady, B.; Triki, S., 2005a. Fatty acids from seeds of *Pinus pinea* L.: Composition and population profiling. Phytochemistry; 66:1729-1735.

Nasri, N.; Khaldi, A.; Hammamo, M.; Triki, S., 2005b. Fatty acid composition of two Tunisian Pine seed oils. Biotechnology Progress; vol.21(3):998-1001.

Nasri, D.; Bouslama, L.; Omar, S.; Saoudin, H.; Bourlet, T.; Aouni, M.; Pozzetto, B.; Pillet, S., 2007. Typing of human enterovirus by partial sequencing of VP2. J. Clin. Microbiol.; 45:2370-2379.

Natalini, F.; Mongue, A.; Vázquez-Piqué, J.; Cañellas, I.; Gea-Izquierdo, G., 2013. Dendroecología de *Pinus pinea* L. en el suroeste de España y su aplicación para el estudio de la vulnerabilidad de especies forestales ante el cambio global. Actas 6º Congreso Forestal Español 10-14 junio 2013. Vitoria, España.

Natalini, F.; Alejano, R.; Vázquez-Piqué, J.; Pardos, M.; Calama, R.; Büntgen, U., 2016. Spatio-temporal variability of Stone pine (*Pinus pinea* L.) growth response to climate across the Iberian Peninsula. Dendrochronologia; vol.40:72-84.

Nergiz, C.; Dönmez, I., 2004. Chemical composition and nutritive value of *Pinus pinea* L. seeds. Food. Chem.; 86:365-8.

Neri, D., 2014. Corso di arboricoltura. S.l.: Università Politecnica delle Marche, Italia.

Neri, D.; Sansavini, S.; Sugiyama, N., 1992. Summer and root pruning of split-root potted peach trees. Acta Horticulturae; vol.322:177-189.

Neri, D.; Massetani, F.; Giorgi, V., 2010. La potatura. Bologna, Italia: Edagricole. ISBN 978-88-506-5283-9.

Nilsson, L.O.; Wiklund, K., 1992. Influence of nutrient and water stress on Norway spruce production in south Sweden, the role of air pollutants. Plant and Soil; vol.147(2):251-265.

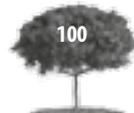
ODEPA, 2016. Mercado de los frutos secos y deshidratados. 34p. [En línea] Disponible en: <http://www.odepa.cl/wp-content/uploads/2014/12/CNFS-mercado-abril-2016.pdf> [Consulta: 27/10/2016]

Oliet, J.; Toca, A.; Fernández, L.; Villar, 2014. Salvador P, Martínez-Vilalta J, Savé R, Grau B, Herralde F, Castro J, Jacobs D. Comparison of the root, needle and xylem cold tolerance in four Iberian pines. 5th International Conference on Mediterranean Pines (Medpine5) 22-26 Septiembre 2014. Solsona, España.

Omodei, B., 2015. Accuracy and uniformity of a gravity-feed method of irrigation. Irrigation Science; vol.33(2):121-130.

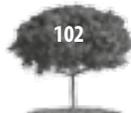
Ottone, J., 1989. Posibilidades del *Pinus pinea* Linn, (pino piñonero) en la producción de piñones para la industria alimenticia. V Jornadas Técnicas: uso múltiple del bosque y sistemas agroforestales. El Dorado, Misiones: 54-56.

Parlak, S.; Kilci, M.; Sayman, M.; Akkas, M.E.; Bucak, C.; Boza, Z., 2013. Climate factors and their relations regarding cone yield of stone pine trees (*Pinus pinea* L.) in Kozak Basin. Options Méditerranéennes; vol.105:15-19.



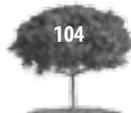


- Pasho, E.; Alla, A.Q., 2015. Climate impacts on radial growth and vegetation activity of two co-existing Mediterranean pine species. *Canadian Journal of Forest Research*; vol.45(12):1748-1756.
- Pasman, W.J.; Heimerikx, J.; Rubingh, C.M.; Berg, R.; O'shea, M.; Gambelli, L.; Hendriks, H.F.J.; Einerhand, A.W.C.; Scott, C.; Keizer, H.G.; Mennen, L.I., 2008. The effect of Korean pine nut oil on in vitro CCK release, on appetite sensations and on gut hormones in post-menopausal overweight women. *Lipids Health Dis.*; 7:10.
- Pellegrini, N.; Serafini, M.; Salvatore, S.; Del Rio, D.; Bianchi, M.; Brighenti, F., 2006. Total antioxidant capacity of spices, dried fruits, nuts, pulses, cereals and sweets consumed in Italy assessed by three different in vitro assays. *Mol. Nutr. Food. Res.*; 50:1030-8.
- Pemán, J.; Navarro, R.; Peragón, J.; Prada, M.; Serrada, R. (Ed.), 2014. Producción y manejo de semillas y plantas forestales: 928-959. ISBN 978-84-8014-837-5. [En línea] Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/Semillas_-_Normativa_y_recomendaciones_de_uso_tcm7-320568.pdf [Consulta: 28-10-2016].
- Peñuelas, J., 2005. Plant physiology, a big issue for trees. *Nature*; vol.437:965-966.
- Peñuelas, J.; Ocaña, L., s/f. Cultivo de plantas forestales en contenedor. 2ª edición. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 190p.
- Peruzzi, A.; Cherubini, P.; Gorreri, L.; Cavalli, S., 1998. Le pinete e la produzione dei pinoli dal passato ai Giorni nostri, nel territorio del parco di Migliarino, S. Rossore, Massaciucoli. Ente Parco Regionale Migliarino San Rossore Massaciucoli. 134p.
- Pestaña, E.V., 2000. El pino piñonero, árbol frutal. *Actas del Primer Simposio del Pino piñonero, Valladolid*; Tomo II:279-284.
- Pinheiro, A.C.; Peca, J.; Gonçalves, A.C.; Riberio, N.A.; Vacas, De, Carvalho, M.A.; Fragoso, M.R.; Gomes, J.A.; Dias, S.; Dias, A.B.; Reynolds, De, Souza, D., 2003. Mecanização da colheita de pinha (*Pinus pinea* L.). III Jornadas Nacionais de Mecanização Agraria. APMA. 9-11/10/2003. Luso, Portugal.
- Piotto, B.; Di Noi, A., 2001. Propagazione per seme di alberi e arbusti della flora mediterranea. Manuale ANPA, Roma.
- Piqué, M., 2004. La modelización forestal como base para la gestión y aprovechamiento sostenible de los montes de *Pinus pinea* L. de Cataluña. Rural Forest. Solsona, Spain: Centre Tecnològic Forestal de Catalunya.
- Pique, M.; Ammari, Y.; Solano, D.; Aleta, N.; Bono, D.; Sghaier, T.; Garchi, S.; Coello, J.; Coll, L.; Mutke, S., 2011. Production and management of Stone pine (*Pinus pinea*) for early nut production: grafted plantations as an alternative for restoring degraded areas and generating income in rural communities of Tunisia. Agropine 2011 International Meeting on Mediterranean Stone pine for Agroforestry. Valladolid, España, 17-19 Noviembre. 28p.
- Portela, E.; Ferreira-Cardoso, J.; Louzada, J.; Gomes-Laranjo, J., 2015. Assessment of boron application in chestnuts: nut yield and quality. *Journal of Plant Nutrition*; vol.38(7):973-987.
- Prada, M.A.; Gordo, J.; De Miguel, J.; Mutke, S.; Catalán, G.; Iglesias, S.; Gil, L., 1997. Las regiones de procedencia de *Pinus pinea* L. en España. Org. Autónomo de Parques Naturales, Madrid, España. 111p.
- Quiróz, I.; González, M.; García, E.; Charlín, G., 2008. Ensayos de germinación para semillas de *Pinus pinea* L. colectadas en dos plantaciones de la comuna de Pichilemu. *Ciencia e Investigación Forestal*; 14(2):239-246.
- Ravazi, S.; Azizi, P.; Rashidi, R.; Keivan, F., 2006. The effect of NPK fertilizers on hand planting *Pinus pinea* in coastal areas of Caspian Sea. *Iranian Journal of Natural Resources Research*; vol.59(2):377-389.
- Rees, K.; Hartley, L.; Flowers, N.; Clarke, A.; Hooper, L.; Thorogood, M.; Stranges, S., 2014. 'Mediterranean' dietary pattern for the primary prevention of cardiovascular disease (Review). *Cochrane Database of Systematic Reviews*; 8. Art. No CD009825. John Wiley & Sons. doi: 10.1002/14651858.CD009825.pub2.
- Rodrigues, A.; Silva, Gl.; Casquilho, M.; Freire, J.; Carrasquinho, I.; Tomé, M., 2014. Linear mixed modelling of cone production for Stone pine in Portugal. *Silva Lusitana*; vol.22(1):1-27.
- Rodríguez, G.; Rodríguez, R., 1984. Las especies de pinaceae cultivadas en Chile. *Bosque. Universidad Austral de Chile. Facultad de Cs. Forestales*; 4(1):25-43.
- Ros, E., 2009. Nuts and novel biomarkers of cardiovascular disease. *The American Journal of Clinical Nutrition*; vol.89(5):1649S-1656S.
- Ros, E., 2015. Nuts and CVD. *Br. J. Nutr.*; 113 (Suppl S2):S111-20.
- Ros, E.; Mataix, J., 2006. Fatty acid composition of nuts. Implications for cardiovascular health. *Br. J. Nutr.*; 96:S29-S35.
- Roversi, P.; Strong, W.; Caleca, V.; Maltese, M.; Sabbatini, Peverieri, G.; Marianelli, L.; Marziali, L.; Strangi, A., 2011. Introduction into Italy of *Gryon pennsylvanicum* (Ashmead), an egg parasitoid of the alien invasive bug *Leptoglossus occidentalis* Heidemann. *EPPO Bulletin*; vol.41(1):72-75.
- Ruano, J.R., 2008. *Viveros Forestales*. 2ª edición. Madrid, España. 285p.
- Ruggeri, S.; Cappelloni, M.; Gambelli, L.; Nicoli, S.; Carnovale, E., 1998. Chemical composition and nutritive value of nuts grown in Italy. *Ital. J. Biochem.*; 10:243-52.
- Ruitenbergh, R., 2013. Pine Nuts Rate Foie Gras Prices as Bugs to Drought Cut Harvests. Bloomberg. [En línea] Disponible en: <http://www.bloomberg.com/news/articles/2013-03-01/pine-nuts-rate-foie-gras-prices-as-bugs-to-drought-cut-harvests> [Consulta: 14 marzo 2013].





- Ryan, E.; Galvin, K.; O'connor, T.P.; Maguire, A.R.; O'brien, N.M., 2006. Fatty acid profile, tocopherol, squalene and phytosterol content of Brazil, pecan, pine, pistachio, and cashew. *Int. J. Food Sci. Nutr.*; 57:219–28.
- Sabaté, J.; Ang, Y., 2009. Nuts and health outcomes: new epidemiologic evidence. *Am. J. Clin. Nutr.*; 89:1643S–48S.
- Sabaté, J.; Wien, M., 2010. Nuts, blood lipids and cardiovascular disease. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.*; 19:131-6.
- Sabillón, D., 2001. Determinación de los factores de emisión de monoterpenos en tres especies típicas de la vegetación terrestre mediterránea: *Pinus pinea* L, *Pinus halepensis* y *Quercus ilex*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, España. 146p.
- Salas-Salvadó, J.; Ros, R.E.; Sabaté, C.J., 2005. Frutos secos, salud y culturas mediterráneas. Ed. Glosa. S.L. 337p.
- Salas-Salvadó, J.; Casas-Agustench, P.; Murphy, M.M.; López-Uriarte, P.; Bulló, M., 2008. The effect of nuts on inflammation. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.*; 17:333–36.
- Sánchez-Gómez, D.; Cano, F.; Cervera, M.; Aranda, I., 2009. Variabilidad fenotípica en respuesta al estrés hídrico en una especie forestal genéticamente homogénea: *Pinus pinea* L. V Congreso Forestal Español. SECF, Junta de Castilla y León. España: 2-7.
- Schlatter, J.E.; Gerding, V., 1984. Deficiencia de Boro en Plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Chile II. Principales causas y corrección. *Bosque*; vol.6(1):32-43.
- Schwaller, P., 2011. Michigan State University Extension. Root pruning apple trees to control excessive vigor in 2011. [En línea] Disponible en: http://msue.anr.msu.edu/news/root_pruning_apple_trees_to_control_excessive_vigor_in_2011 [Consulta: 03-04-2015].
- Schröder, K.; Khaildi, A.; Hasnaoui, A., 2014. Analyse de la chaîne de valeur "Pignons de pin" en Tunisie. S.l.: GIZ.
- Sfeir, P.R., 2011. Stone pine and pine nut production in Lebanon. International Meeting on Mediterranean Stone Pine for Agroforestry 17-19 Noviembre 2011. Valladolid, España.
- Shahidi, F.; Miraliakbari, H., 2005. Tree Nut Oils. In: Bailey's Industrial Oil and Fat Products, Shahidi F, ed. Sixth Ed. John Wiley & Sons, Inc.
- Shen, C., 2003. Millennial-scale variations and centennial-scale events in the southwest Asian monsoon: pollen evidence from Tibet. PhD Dissertation, Louisiana State University, Baton Rouge. 286p.
- Shigo, A., 1991. Modern Arboriculture. EE.UU. 424p.
- Silveira, P., 2012. Pihna ou Pinhão negro, rentabilidade e resultados. Seminario "Valorização da Fileira da Pihna/Pinhao". Septiembre 18, 2012. Alcácer do Sal, Portugal.
- Simberloff, D.; Nuñez, M.A.; Ledgard, N.J.; Pauchard, A.; Richardson, D.M.; Sarasola, M.; Van Wilgen, B.W.; Zalba, S.M.; Zenni, R.D.; Bustamante, R.; Peña, E.; Ziller, S., 2010. Spread and impact of introduced conifers in South America: lessons from other southern hemisphere regions. *Austral Ecology*: vol.35(5):489-504.
- Smith, R.; Greenwood, M., 1995. Effects of gibberellin A4/7, root pruning and cytokinins on seed and pollen cone production in black spruce (*Picea mariana*). *Tree Physiology* 1995;vol.15(7-8):457-465.
- Smith, R.; Greenwood, M., 1997. Effects of cone-induction treatments on black spruce (*Picea mariana*) current-year needle development and gas exchange properties. *Tree Physiology*; vol.17(6):407-414.
- Sobarzo, V., 2004. Evaluación de la rentabilidad económica del manejo de un bosque de *Pinus pinea* en Sierra Morena, España. Memoria para optar al Título de Ingeniero Forestal. Universidad de Concepción, Chile. 30p.
- Sousa, E.; Ferreira, C.; Pimpão, M.; Naves, P.; Valdivieso, T., 2012. Sanidade dos povoamentos de pinheiro manso em Portugal. Seminario "Valorização da Fileira da Pihna/Pinhao". Septiembre 18, 2012. Alcácer do Sal, Portugal.
- Tan, S.Y.; Dhillon, J.; Mattes, R.D., 2014. A review of the effects of nuts on appetite, food intake, metabolism, and body weight. *Am. J. Clin. Nutr.*; 100 (suppl):412S–22S.
- Testi, A.; Cara, E.; Fanelli, G., 2007. An example of realization of Gis ecological maps derived from Ellenberg indicators in the Biological Reserve of Doñana National Park (Spain). *Rendiconti Lincei*; vol.18:49-66.
- Thabeet, A.; Denelle, N.; El, Khorchani, A.; Thomas, A.; Gadbin., 2007. Henry C. Etude dendroclimatologique de quatre populations de pin pignon en Tunisie. *Forêt Méditerranéenne*; vol.28(3):219-228.
- Trap, L., 1993. *Pinus pinea*, an update for Australia. Yearbook West Australian Nut and Tree Crops Association; N°17:6-8.
- Trap, L., 1996. *Pinus pinea*: an edible nut pine of many uses. The Australian New Crops Newsletter; N°6:3p.
- UNAC, 2014. Guia de Colheita e comercialização de pinha. Programa de valorização da fileira da pihna/pinhão. [En línea] Disponible en: http://www.unac.pt/images/ficheiros/GUIA_Colheita_da_Pinha_SITE.pdf [Consulta: 27 diciembre 2013].





USDA - US Department Of Agriculture Ars, 2015. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 28. Nutrient Data Laboratory Home Page. United States Department of Agriculture.

Van den Brandt, P.A.; Schouten, L.J., 2015. Relationship of tree nut, peanut and peanut butter intake with total and cause-specific mortality: a cohort study and meta-analysis. *Int. J. Epidemiol.*; 44:1038–49.

Vanhanen, L.; Savage, G., 2013. Mineral analysis of Pine nuts (*Pinus* spp.) grown in New Zealand. *Foods*; vol.2(2):143-150.

Vendramin, G.; Fady, B.; González-Martínez, C.; Sheng, Hu, F.; Scotti, I.; Sebastiani, F.; Soto, A.; Petit, J.R., 2008. Genetically depauperate but widespread: the case of an emblematic Mediterranean pine. *Evolution*; 62-3:680-688.

Venegas G.A.; Loewe M.V.; Toral M. 2016. Influencia del uso de reguladores de crecimiento sobre brotes vegetativos y número de estróbilos masculinos en *Pinus pinea* L. en Chile. *Ciencias Florícolas*, Santa Maria, 26 (4) 1087-1096.

Venkatachalam, M.; Sathe, S.K., 2006. Chemical composition of selected edible nut seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*; vol.54(13):4705-4714.

Villar, P.; Ocaña, L.; Peñuelas, J.; Carrasco, I., 1999. Effect of water stress conditioning on the water relations, root growth capacity, and the nitrogen and non-structural carbohydrate concentration of *Pinus halepensis* Mill. (Aleppo pine) seedlings. *Ann. For. Sci.*; 56:459-465.

Villar, P.; Domínguez, S.; Peñuelas, J.; Carrasco, I.; Herrero, N.; Nicolás, J.; Ocaña, L., 2000. Plantas grandes y mejor nutridas de *Pinus pinea* L. tienen mejor desarrollo en campo. *Actas del Primer Simposio del Pino Piñonero*; Tomo I:219-227.

Villar, P.; Garrachón, S.; Domínguez-Lerena, S.; Peñuelas, J.; Serrada, R.; Ocaña, L., 2001. Desarrollo en campo, arquitectura radical y estado hídrico seis años después de la plantación de brinzales de *Pinus pinea* cultivados en diferentes tipos de contenedor. *Actas del III Congreso Forestal Español*. Granada, Mesa 3: 797-803.

Wang, L.; Wang, Q.; Liu, H.; Du, Y., 2014. Determining the contents of protein and amino acids in peanuts using near-infrared reflectance spectroscopy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*; vol.93(1):118-124.

Webb, D.; Wood, P.; Smith, J.; Henman, G., 1984. *A Guide to Species Selection for Tropical and Sub-Tropical Plantations*. 2nd Edition. Oxford, Inglaterra, Commonwealth Forestry Institute. 256p.

Wolff, R.L.; Bayard, C.C., 1995. Fatty acid composition of some pine seed oils. *J. Am. Oil. Chem. Soc.*; 72:1043-46.

Wolff, R.L.; Pedrono, F.; Pasquier, E.; Marpeau, A.M., 2000. General characteristics of *Pinus* spp. seed fatty acid compositions, and importance of delta5-olefinic acids in the taxonomy and phylogeny of the genus. *Lipids*; vol.35(1):1-22. .

Wu, X.; Beecher, G.R.; Holden, J.M.; Haytowitz, D.B.; Gebhardt, S.E.; Prior, R.L., 2004. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *J. Agric. Food Chem.*; 52:4026-37.

Xiao, X.; Xie, R.; Li, Z.; Kang, W.; Wu, J., 2015. Effects of fertilization on growth and soil of middle-aged Slash pine forest. *Agricultural Science & Technology*; vol.16(11):2386-2393.

Yagüe, S., 1993. *Silvicultura y producción del pino piñonero (Pinus pinea L.)*. Ponencias y Comunicaciones, Tomo II. Congreso Forestal Español, Lourizán.

Yagüe, S., 1994. Producción y silvicultura del piñonero (*Pinus pinea* L.) en la provincia de Ávila. 2ª parte: Silvicultura. *Ciencia y Técnica*; 37:45-51.

Yang, S.; Du, H.; Yu, Y.; Che, Y.; Yuan, C.; Xing, S., 2012. Effect of root pruning on competitive ability in Chinese jujube tree. *Fruits*; vol.67(6):429-437.

Zhou, G.F.; Peng, S.A.; Liu, Y.Z.; Wei, Q.J.; Han, J.; Islam, M.Z., 2014. The physiological and nutritional responses of seven different citrus rootstock seedlings to boron deficiency. *Trees*; vol.28(1)295-307.

Zobel, B.; Van, Wyk, G.; Stahl, P., 1988. *Growing Exotic Forest*. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, EE.UU. 508p.

Zucconi, F., 1996. Root dynamics in natural and agricultural plants and the making of domestication. En: Ito JV, Johansen C, Adu-Gyamfi JJ, Katayama K, Kumar Rao(ed.), *Root and nitrogen in cropping systems of the semi-arid tropics*. Tsukuba, Japón: JIRCAS: 103-128.

Zucconi, F., 2003. *Nuove tecniche per i frutteti. Fisiologia e metodi innovativi nell'allevamento dei fruttiferi*. Bolonia, Italia: Ed. Edagricole.

Zucconi, F.; Sabbatini, P., 2003. La potatura delle radici all'impianto. En: F. Zucconi (ed.), *Nuove tecniche per i frutteti. Fisiologia e metodi innovativi nell'allevamento dei fruttiferi*. Bolonia, Italia: Ed. Edagricole: 115-122.

